



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

DOPLŇUJÍCÍ SENSORIKA PRO NESTABILNÍ BALANCUJÍCÍ VOZIDLO

AUXILIARY SENSORICS FOR UNSTABLE BALANCING VEHICLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VOJTĚCH SOLNICKÝ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vojtěch Solnický

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Doplňující sensorika pro nestabilní balancující vozidlo

v anglickém jazyce:

Auxiliary sensorics for unstable balancing vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tato práce navazuje na úspěšný projekt nestabilního balancujícího vozidla dokončený skupinou studentů ÚMTMB v r. 2010. Smyslem práce je rozšířit stávající zařízení o sensoriku pro monitorování stavu vozidla a displej zobrazující uživateli některé informace.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Zabudovaný sensor pro zjištění přítomnosti jezdce (patrně na tenzometrickém principu).
- 2) Logování dat o chování vozidla na SD kartu s možností stažení do PC.
- 3) Zabudování nouzového vypínače.
- 4) Navržena nová deska řídicí elektroniky umožňující připojení dodatečných sensorů a prostředků.
- 5) Navržený a zabudovaný informační displej s příslušnou elektronikou.
- 6) Naprogramování zobrazování jízdních dat (rychlost vozidla, stav baterie, počítadlo ujeté vzdálenosti).
- 7) Zajištění ochrany výkonové elektroniky proti indukovanému napětí ve vypnutém stavu.
- 8) Naprogramování testování správnosti údajů ze sensorů.

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Noskiewicz: Modelování a identifikace systémů
- Skalický, J. Teorie řízení 1. 1.vyd. Brno, 2002, ISBN 80-214-2112-6
- Zouhar, F.: Návrh konstrukce, řízení a elektroniky pro nestabilní balancující vozidlo, meclab, DP 2011
- Štěpánek, J.: Identifikace systému, sensorika a implementace řídicího algoritmu pro nestabilní balancující vozidlo, meclab, DP 2011

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2011

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce navazuje na úspěšný projekt nestabilního balancujícího vozidla, který byl v mechatronické laboratoři uskutečněn v minulých letech. Cílem je toto vozidlo doplnit především o displej, zobrazující jízdní vlastnosti. Z tohoto důvodu je potřeba nejprve pomocí několika senzorů tyto jízdní vlastnosti stanovit. Mezi další problémy, kterými se tato práce zabývá, patří řešení poškození výkonové elektroniky vlivem indukovaného napětí v motorech s permanentními magnety, zabudování senzoru na zjištění přítomnosti jezdce a logování jízdních vlastností vozidla na SD kartu. Nakonec je ještě popsána implementace kontroly správnosti údajů ze senzorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nestabilní vozidlo, displej, Multimedia Expansion Board, tenzometr, elektromagnetické relé, enkodér, baterie, SD karta

ABSTRACT

This thesis continues on successful project of unstable balancing vehicle, which was completed in mechatronics laboratory in last year. The main goal is to supplement vehicle with display device displaying driving conditions. These conditions have to be acquired first from several sensors. Other issues, which are dealt in this thesis, is problem with damage of electronics due to induced voltage in DC motors with permanent magnets, built-in sensor for obtaining information about driver's presence and logging driving conditions on SD card. In the end there is described implementation of sensors' output signals verification.

KEY WORDS

Unstable vehicle, display device, Multimedia Expansion Board, strain gauge, electromagnetic relay, encoder, battery, SD card

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOLNICKÝ, V. *Doplňující sensorika pro nestabilní balancující vozidlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Robert Grepl, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě rad a pokynů vedoucího práce, a že jsem veškeré literární zdroje uvedl v seznamu použité literatury.

V Brně dne 24. 5. 2012

.....
Vojtěch Solnický

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Robertu Greplovi, Ph.D. za vedení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat všem kolegům v Mechlabu, za všechny rady a podněty při práci na praktické části mé práce a za vytvoření příjemné pracovní atmosféry.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mým rodičům za podporu v průběhu celého mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD.....	11
2. REŠERŠNÍ STUDIE.....	12
2.1. PROJEKT HUMMER	12
2.2. PROBLÉM S INDUKOVANÝM NAPĚTÍM V MOTORECH	13
2.2.1. Indukce napětí v DC motoru.....	13
2.2.2. Vliv indukovaného napětí na výkonovou elektroniku	14
2.3. SENZOR NA ZJIŠTĚNÍ PŘÍTOMNOSTI JEZDCE	15
2.3.1. Mikrotlačítka.....	15
2.3.2. Tenzometrický senzor.....	15
2.4. DISPLEJ PRO ZOBRAZOVÁNÍ JÍZDNÍCH VLASTNOSTÍ.....	16
2.4.1. Multimedia Expansion Board	16
2.4.2. Práce s grafikou – Microchip Graphic Library.....	17
2.4.3. Komunikace pomocí rozhraní UART.....	19
2.4.4. Záznam dat na SD kartu	20
3. POSTUP ŘEŠENÍ.....	21
3.1. ŘEŠENÍ PROBLÉMU S INDUKOVANÝM NAPĚTÍM	21
3.1.1. Výběr vhodného relé	21
3.1.2. Zapojení relé a stop tlačítka	22
3.1.3. Zhodnocení funkce	22
3.2. DETEKCE PŘÍTOMNOSTI OSOBY	23
3.2.1. Volba tenzometru	23
3.2.2. Odezva tenzometrického snímače	23
3.3. ZJIŠTĚNÍ ÚDAJŮ POTŘEBNÝCH PRO ZOBRAZOVÁNÍ NA DISPLEJI.....	24
3.3.1. Určení stavu baterie.....	24
3.3.2. Určení rychlosti vozidla.....	26
3.3.3. Určení náklonu vozidla.....	28
3.4. ZOBRAZOVÁNÍ JÍZDNÍCH VLASTNOSTÍ A ZÁPIS DAT NA SD KARTU	28
3.4.1. Komunikace po sériové lince	28
3.4.2. Základní popis GUI	29

3.4.3.	<i>Obrazovka zobrazení jízdních vlastností.....</i>	<i>30</i>
3.4.4.	<i>Obrazovka volby logování dat na SD kartu</i>	<i>32</i>
3.4.5.	<i>Obrazovka ukázky náklonu vozidla</i>	<i>33</i>
3.4.6.	<i>Zápis dat na SD kartu.....</i>	<i>33</i>
3.4.7.	<i>Upevnění a kryt displeje</i>	<i>34</i>
3.5.	NÁVRH POTŘEBNÉ ELEKTRONIKY	35
3.5.1.	Návrh zesilovače pro tenzometry	35
3.5.2.	Úpravy DPS řídicí elektroniky	36
3.6.	KONTROLA SPRÁVNOSTI ÚDAJŮ ZE SENZORŮ	37
3.6.1.	Kontrola senzorů určujících náklon vozidla	37
4.	ZÁVĚR.....	39
5.	POUŽITÁ LITERATURA	40
6.	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	42
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK.....	43
8.	SEZNAM PŘÍLOH	44

1. ÚVOD

Funkční prototyp nestabilního balancujícího vozidla, který byl v minulém roce vytvořen skupinou studentů oboru mechatronika, je vsutku krásným příkladem mechatronické práce, neboť v sobě snoubí jak prvky mechaniky a elektroniky tak inteligentního řízení a to vše v synergickém propojení. Přestože jde o velmi povedené zařízení, stále je zde prostor k vylepšení, což je hlavním cílem této práce.

Jednou z věcí, která na vozidle dosud chyběla, byl displej informující o rychlosti vozidla, stavu baterie, ujeté vzdálenosti a případně dalších vlastnostech vozidla. V současné době je stále více kladen důraz na informovanost obsluhy jakéhokoli zařízení o jeho stavech, především těch chybových, a u mobilních zařízení to platí dvojnásob. Už většinou nestačí signalizační diody, jako tomu bylo v minulosti, ale stále více zařízení obsahuje zabudovaný displej, jenž je nejlepším prostředkem právě pro informovanost uživatele. S rozvojem dotykových obrazovek se také čím dál častěji můžeme setkat s tím, že displej neplní pouze funkci informační, ale stává se zároveň hlavním prostředkem pro ovládání zařízení a tím pádem plní funkci veškeré interakce mezi uživatelem a přístrojem.

Jelikož již z principu mobilních zařízení není možné stále sledovat a zároveň vyhodnocovat veškeré důležité vlastnosti a stavy, je častým požadavkem na mobilní zařízení možnost ukládat záznamy o chování zařízení, které budou odborně vyhodnoceny později. Dnešní doba nám naštěstí poskytuje spoustu záznamových médií s různou velikostí a kapacitou. Mezi ty rozměrově nejmenší patří různé druhy paměťových karet, kdy nejpoužívanější jsou tzv. SD karty. Záznamem jízdních vlastností právě na toto médium se práce také zabývá.

Kromě předchozích problémů se práce dále zaměřuje na několik menších, či větších vylepšení celé platformy nestabilního balancujícího vozidla. Jednou z nich je zabudování senzoru pro zjištění přítomnosti jezdce. Pomocí tohoto senzoru se může upravovat řídicí algoritmus na základě přítomnosti, případně dalších vlastnostech, jezdce. Díky nově zabudovanému nouzovému tlačítku je možno vozidlo zastavit i při selhání současných bezpečnostních algoritmů, mezi které je přidána kontrola údajů ze senzorů. V neposlední řadě je také popsáno řešení problému s poškozováním výkonové elektroniky vlivem indukovaného napětí v motorech.

2. REŠERŠNÍ STUDIE

2.1. Projekt HUMMeR

Jak již bylo napsáno výše, tato práce navazuje na úspěšný projekt bývalých studentů oboru mechatronika: Ing. Františka Zouhara, Ing. Jana Štěpánka a Ing. Petra Horáka. Tito studenti se v rámci svých diplomových prací ([1], [2], [3]) zabývali tzv. projektem HUMMeR. Cílem tohoto projektu bylo vytvořit nestabilní balancující vozítko typu SEGWAYTM, tedy elektricky napájené dvoustopé vozidlo, které umožní jezdcovi pohyb v městském prostředí a jehož rychlost je určována náklonem jezdce vpřed a případně vzad. Pojmenování HUMMeR vzniklo jako zkratka spojení Human Universal Mobile Mechatronics Robot.

Toto vozidlo pracuje na principu inverzního kyvadla. Pomocí elektronického řízení se tedy snaží stále mít nulový náklon. Výsledkem tedy je, že při náklonu vpřed jede vozidlo tímto směrem a naopak. Řízení je realizováno pomocí PID regulátoru, kdy vstupem do regulátoru je náklon vozidla a výstupem je střída pro pulzní šířkovou modulaci (PWM) motoru. Náklon vozidla je určen pomocí dvou MEMS senzorů a to akcelerometru a gyroskopu. Výstupy z těchto senzorů jsou pomocí tzv. Complementary filtru [2] přepočteny na aktuální náklon vozidla. Zatáčení vozidla je řešeno náklonem řídicích do stran. Tento pohyb je přenášen na dva potenciometry v základně řídicích a následně vyhodnocen v řídicí elektronice.

Konstrukce vozidla je vytvořena z duralu, čímž je zajištěna dostatečná pevnost při zachování relativně malé hmotnosti, na rozdíl např. od oceli. Mezi zajímavé konstrukční prvky patří uložení kol a základna řídicích. Více o konstrukci se můžete dočíst v [1]. Důležitými prvky vozidla jsou dva DC motory GR 80x80 od společnosti Dunkermotoren. K čelu motoru je připojena planetová převodovka PLG 60 s převodovým poměrem 9:1. Dále jsou k motorům připevněny enkodéry. O zdroj energie se starají tři 12 V olověné akumulátory zapojené v sérii.

Mezi důležité elektronické prvky patří řídicí elektronika, umístěná na horní straně platformy. Řízení je realizováno na mikrokontroleru Microchip dsPIC33FL128MC804. Tento 16bitový mikrokontroler poskytuje dostatečný výpočetní výkon pro řízení vozidla a také pro aplikované bezpečnostní algoritmy. Jeho výhodou je možnost programování v prostředí Simulink prostřednictvím Kerhuel Toolboxu. Řídicí elektronika je napájena ze zdroje palubního napětí, jenž převádí napětí z baterií na potřebných 5 V. Dalšími elektronickými prvky jsou dva H-můstky, které, pomocí výkonových tranzistorů, mikrokontroleru a další elektroniky, převádějí řídicí signály z řídicí elektroniky na výkonové signály reálně vstupující do motorů. Na vozidle dále můžeme nalézt integrovanou nabíječku, která se stará o správné nabíjení baterií.

Výsledkem projektu HUMMeR je tedy funkční prototyp vozidla, který je synergickým spojením mechaniky, elektroniky a řízení a jde tedy o opravdový mechatronický systém. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že jízda na vozítku je velice příjemná a ovládání je naprosto intuitivní. Přestože se od doby dokončení objevilo pár problémů, které bylo potřeba vyřešit, jedná se o velmi povedené zařízení.

2.2. Problém s indukovaným napětím v motorech

Jedním z problémů který se na funkčním vozítku objevil, bylo, že se po zapnutí hlavního vypínače rozjelo jedno z kol na maximální rychlost. To mělo samozřejmě fatální vliv na funkčnost stabilizace a pro nepřipraveného člověka, jenž vozidlo v tomto stavu zapnul, šlo o vážnou hrozbu zranění. Bylo tedy odhadnuto, že problém spočívá v H-můstcích poškozených vlivem napětí indukovaného v motoru při tlačení vozidla ve vypnutém stavu.

2.2.1. Indukce napětí v DC motoru

Jelikož vozidlo obsahuje DC motory s permanentními magnety, je magnetický indukční tok v motorech konstantní a naprosto nezávislý na dodávané elektrické energii, na rozdíl od motorů s budícím vinutím ve statoru. To přináší spoustu výhod, především jednoduchou konstrukci, jednoduché vytvoření matematického modelu a z toho plynoucího řízení atd. Na druhou stranu má toto řešení i své nevýhody. Jednou z těchto nevýhod je právě indukce ve „vypnutém“ stavu, tedy stavu, kdy není do rotoru dodávána žádná energie. Pokud se v tomto případě dá rotor do pohybu, dostává se motor do generátorického režimu a v motoru se indukuje elektrické napětí. Toto napětí můžeme vyjádřit jednoduchým vztahem

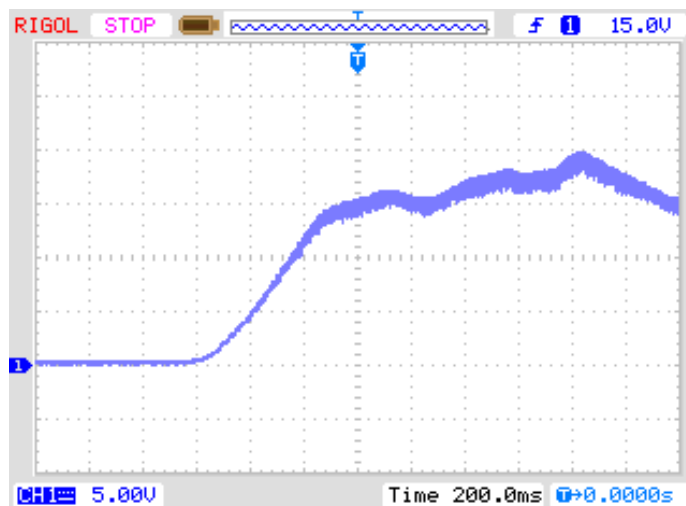
$$U_i = c\Phi_{el}\omega, \quad (1.1)$$

kde

U_i	indukované napětí [V],
$c\Phi_{el}$	elektrická konstanta motoru [V/rad · s ⁻¹],
ω	úhlová rychlost rotoru [rad · s ⁻¹].

Jak lze z rovnice vyčíst, indukované napětí je závislé na elektrické konstantě motoru a na úhlové rychlosti. Nesmíme zapomenout, že jde o úhlovou rychlost rotoru a ne kol. Jelikož jsou motory opatřeny planetovou převodovkou o převodovém poměru 9:1, je úhlová rychlost otáčení rotoru vzhledem k úhlové rychlosti otáčení kol 9krát větší. Reálné napětí, které lze naměřit na svorkách motoru je menší, než toto vypočtené, neboť dochází ke ztrátám na vinutí rotoru a dále také ke ztrátám na kartáčích komutátoru.

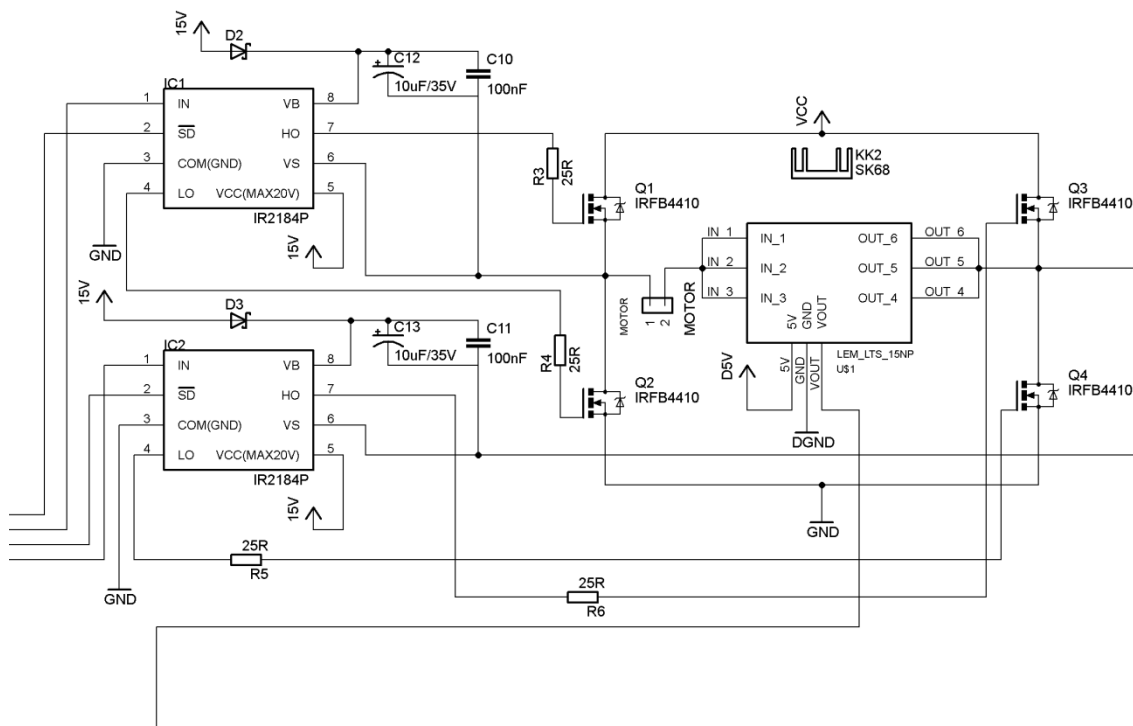
Následující obrázek ukazuje záznam z osciloskopu, kdy bylo experimentálně změřeno indukované napětí v motoru. Toto měření bylo provedeno při úhlové rychlosti rotoru cca 113 rad/s. Na záznamu lze zřetelně vidět, že při této rychlosti dosahuje indukované napětí hodnot mezi 15 a 20 V.



Obr. 2.1: Indukované napětí v motoru

2.2.2. Vliv indukovaného napětí na výkonovou elektroniku

Svorky motoru jsou připojeny k H-můstkům, které se starají o napájení motoru. V případě, že je motor v generátorickém režimu a indukuje se na něm napětí, jsou to právě tyto H-můstky, kde dojde k problémům a poškození elektroniky s následným chováním, jež bylo popsáno výše. Na následujícím schématu můžeme vidět, jak je motor k H-můstkům připojen a tedy které součásti jsou nejvíce ohroženy.



Obr. 2.2: Schéma zapojení motoru

Ve schématu lze vidět, kromě základních součástek jako jsou rezistory a kondenzátory, čtyři MOS-FET tranzistory IRFB4410, proudové čidlo LEM LTS 15NS a dva budiče tranzistorů IR2184P.

Z chování vozidla při poškození vyplynul předpoklad, že indukovaným napětím byl proražen jeden z tranzistorů, čímž se stal zkratem a napájecí proud procházel tímto tranzistorem přes motor a přes sepnutý spodní tranzistor do země.

Po prozkoumání poškozené elektroniky a proměření tranzistorů bylo zjištěno, že tento předpoklad byl správný. Proražený byl pravý horní tranzistor, na schématu označený jako Q3.

Následkem proraženého tranzistoru byla ještě na DPS H-můstku spálená cesta mezi tranzistorem Q3 a Q4, (viz Příloha 2).

2.3. Senzor na zjištění přítomnosti jezdce

Senzor, jenž by zjišťoval přítomnost jezdce, byl v plánu již během původní práce na projektu. Přestože je vozidlo v první řadě dopravním prostředkem, důležitá a atraktivní je také jeho schopnost stabilizovat se na místě v nezatíženém stavu. V [1] se lze dočíst o postupu návrhu řízení a jsou zde porovnány regulace jak v zatíženém, tak nezatíženém stavu, kdy nejlepší regulace při jízdě, není nejlepší regulací pro stabilizaci na místě a muselo se tedy přistoupit k různým kompromisům. V případě, že by byl zabudován funkční senzor, jenž by zjišťoval přítomnost jezdce, nemuselo by se k těmto kompromisům přistupovat a mohlo by se mezi různými typy regulací přepínat.

K dalším výhodám, které senzor přináší, můžeme počítat vylepšení bezpečnostních algoritmů. Pokud by senzor nefungoval na principu pouhého zjištění, jestli na vozidlu někdo stojí, ale dokázal by i určit některé parametry jezdce, například hmotnost, dalo by se celé řízení ještě zkvalitnit a posunout projekt zase dále.

V následujícím textu lze nalézt popis uvažovaných senzorů a jejich výhody a nevýhody.

2.3.1. Mikrotlačítka

V původním projektu se jako se „senzorem“ na zjištění přítomnosti jezdce počítalo s mikrotlačítky. Je pro ně dokonce připraveno místo na DPS řídicí elektroniky. Pomocí mikrotlačítek by bylo možné signalizovat pouze dva stavy a to, že jezdec je přítomen, nebo ne. Složitější by také bylo jejich zabudování do základní desky vozidla tak, aby bylo zaručeno jejich stlačení při přítomnosti jezdce.

Pro shrnutí tedy:

- + jednoduchá implementace z elektronického hlediska
- pouze dva stavy
- složitější zabudování do vozidla

2.3.2. Tenzometrický senzor

Další možností jak zjistit přítomnost jezdce je tenzometrický senzor. Tenzometry měří primárně přetvoření předmětu, na kterém jsou nalepeny. Díky známé závislosti přetvoření na napětí (Hookův zákon) a následně určení síly, které toto napětí vytvořilo, můžeme z tenzometru poměrně jednoduše určit působící sílu. Proto se tenzometry používají ve většině aplikací, kde potřebujeme jednu z těchto veličin určit, například ve vahách, v tlakových senzorech, při měření deformačních parametrů atd.

Tenzometr je v podstatě vodič, který má v základním stavu jistý odpor. Pokud je tenzometr nalepen na měřený povrch a tento povrch v důsledku působení síly změní své rozměry, dojde k přetvoření i u tenzometru. Odpor vodiče je závislý na rozměrech podle vztahu (2). Za předpokladu konstantního ρ a malých změn průřezu S je tedy změna odporu přímo úměrná změně délky, neboli přetvoření.

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

kde

R	odpor vodiče $[\Omega]$,
ρ	měrný elektrický odpor materiálu $[\Omega/m]$,
l	délka vodiče $[m]$,
S	průřez vodiče $[m^2]$.

Jednou z hlavních výhod tenzometru je právě lineární závislost mezi přetvořením a změnou odporu, v elastické oblasti u kovových materiálů je tedy i lineární závislost vzhledem k působící síle. Další výhodou je velice malá hystereze. Naopak mezi nejdůležitější vlivy, jež negativně ovlivňují správnost naměřených dat z tenzometru je teplota okolí, která způsobuje nejen změnu vodivosti materiálu, ale dochází jejím vlivem také k teplotní roztažnosti tenzometru i základního tělesa. Na kompenzaci tohoto vlivu existuje několik metod.

Co se týče našeho konkrétního použití tenzometrického snímače, největší výhodou je fakt, že pomocí snímače zjistíme nejen, jestli je jezdec přítomen, ale můžeme také částečně určit jeho hmotnost. Další výhodou je umístění tenzometru, neboť ten se umístí na nejvíce namáhané místo a na konkrétní poloze jezdce na základní desce již téměř nebude záležet. Nevýhodou je složitější zapojení, protože signál z tenzometru je velmi slabý a bude určitě zapotřebí zesilovač. Také vyhodnocení tohoto signálu bude náročnější.

Shrnutí:

- + určení hmotnosti jezdce
- + jednoduché připevnění
- potřeba další elektroniky

2.4. Displej pro zobrazování jízdních vlastností

2.4.1. Multimedia Expansion Board

Jako displej pro zobrazování jízdních vlastností byl zvolen Multimedia Expansion Board (MEB) od společnosti Microchip. Tato platforma pracuje pomocí připojeného tzv. PIC32 Starter Kitu, od stejné společnosti. V našem případě byl použit PIC32 USB Starter Kit II, osazený mikroprocesorem PIC32MX798F512L. Tento Starter Kit obsahuje integrovaný programátor, takže práce s ním je velice jednoduchá a je zapotřebí jen propojit s počítačem za pomoci dodaného USB kabelu.



Obr. 2.3: Multimedia Expansion Board

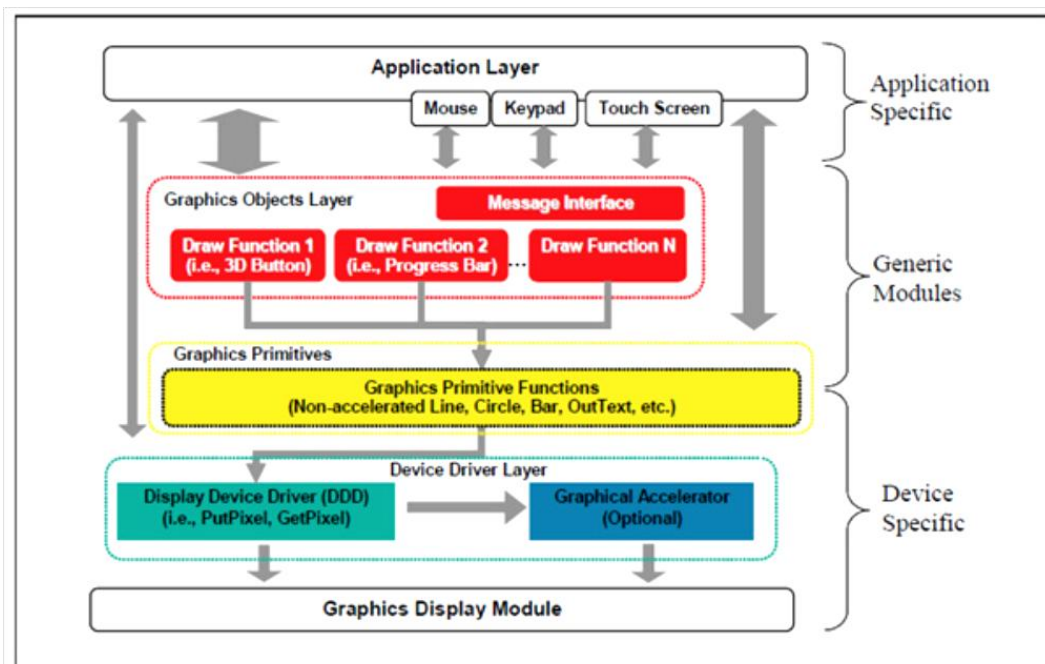
Samotný MEB obsahuje především následující součásti [6]:

- 3,2“ dotykový LCD TFT displej s rozlišením QVGA (320x240 pixelů)
- hardwarové tlačítko a čtyřsměrný joystick
- vstupy a výstupy pro jack konektor pro práci s audiem
- grafický kontrolér SSD1926 od společnosti Solomon Systech
- slot pro microSD kartu
- modul MRF24WB0MA pro Wi-Fi komunikaci
- akcelerometr a senzor teploty
- zabudované externí paměti EEPROM (24LC08) a NOR Flash (SST25VF016)
- 24bitový audio kodek WM8731
- CPLD pro konfiguraci SPI komunikace
- I/O konektor pro další rozšíření

Kromě posledně zmíněného konektoru je možné ke konektivitě použít konektory na PIC32 USB Starter Kitu II, konkrétně tři typy USB konektorů a to standardní typ A, miniUSB typ B a microUSB typ A i B.

2.4.2. Práce s grafikou – Microchip Graphic Library

Pro práci s grafikou a zároveň s obsluhou dotykového displeje slouží grafická knihovna Microchip Graphic Library, která je součástí balíku knihoven Microchip Application Libraries. Tato knihovna obsahuje funkce a makra pro vytváření a správu grafických objektů na displeji. Celá struktura a funkce knihovny je rozdělena do několika vrstev:

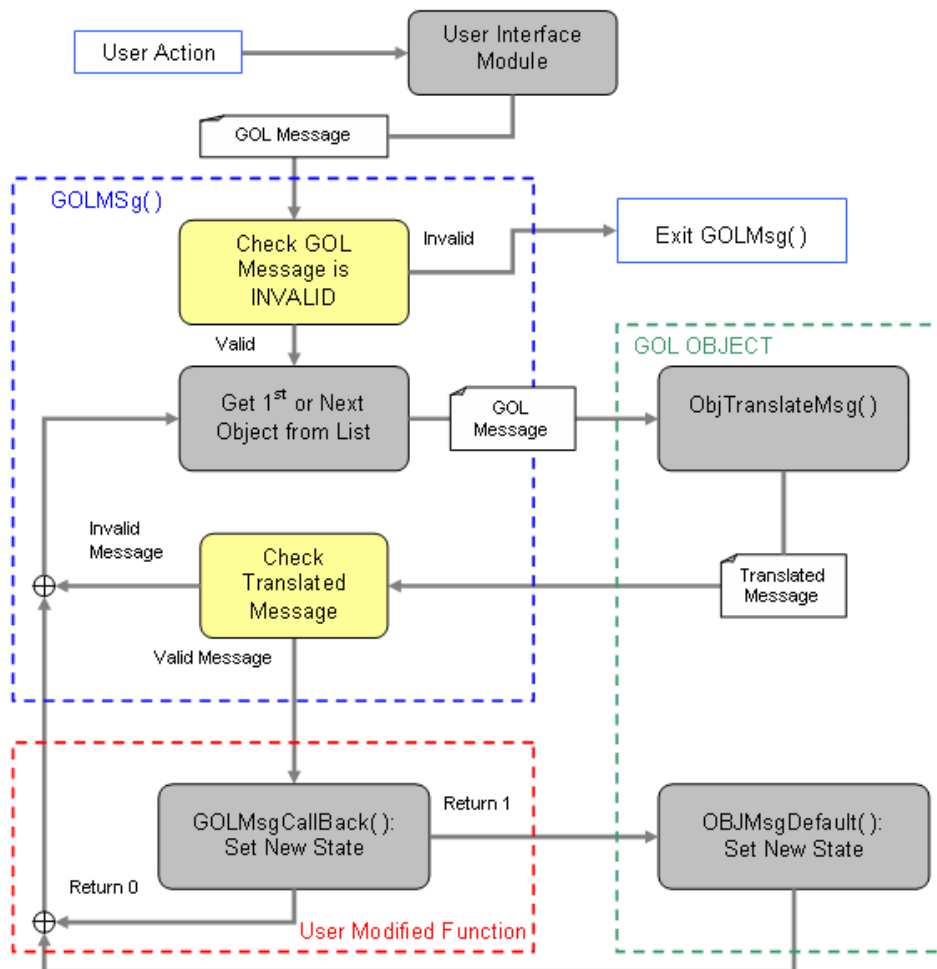


Obr. 2.4: Struktura Microchip Graphics Library, převzato z [9]

- *Application Layer:* Jde o uživatelem definovaný program, který využívá funkce grafické knihovny.
- *Message Interface:* Toto rozhraní by mělo být implementováno v programu, pokud má program využívat uživatelské vstupy, například vstupy z připojených periférií jako je klávesnice, myš atd. V našem případě budou uživatelské vstupy probíhat přes rozhraní dotykového displeje.
- *Graphics Object Layer (GOL):* Tato vrstva slouží k vytváření vyšších grafických objektů, jenž vytvářejí příjemné uživatelské rozhraní, tzv. GOL objektů. Mezi tyto objekty patří například tlačítka, zaškrťovací políčka, seznamy položek, případně grafy a obrázky.
- *Graphics Primitive Functions:* V této vrstvě dochází k vytváření jednoduchých grafických objektů, jako jsou přímky, kružnice, základní tvary, jednoduchý text apod.
- *Device Driver Layer:* Tato vrstva závisí na použitém zobrazovacím zařízení. Jde o konkrétní způsoby vykreslování objektů, ať už přímo pomocí jednotlivých pixelů nebo pomocí grafické akcelerace.
- *Graphics Display Module:* Samotné zobrazovací zařízení (displej).

Jak lze vidět, součástí grafické knihovny jsou i funkce pro práci s uživatelskými vstupy, v našem případě vstupy prostřednictvím dotykového displeje. Vyhodnocování uživatelských vstupů probíhá na úrovni *Graphics Object Layer*. Práce s těmito vstupy probíhá na „vysoké úrovni“ pomocí tzv. zpráv, kdy každý vstup vyvolá zprávu, jež je následně vyhodnocena podle následujícího schématu. Konkrétně u dotykového displeje

je zprávou struktura, jež obsahuje typ vstupního zařízení (dotykový displej), událost (dotyk, posunutí, uvolnění) a souřadnice pozice dotyku.



Obr. 2.5: Tok zpráv, převzato z [9]

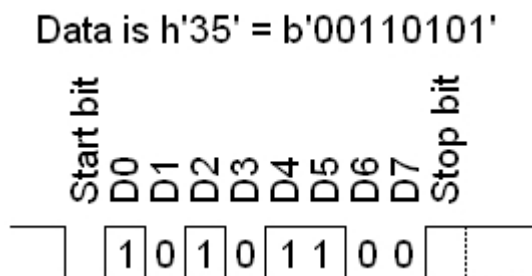
Vzniklá zpráva je nejprve zkontrolována. Následně je ve smyčce vyhodnoceno, který GOL objekt zpráva ovlivní. Tímto objektem je zpráva přeložena, čímž získáme konkrétní stav objektu, například tlačítko bylo zmáčknuté. Následuje další kontrola a zpráva i s překladem vstupuje do uživatelem definované funkce, jež určuje, co má být vykonáno v závislosti na stavu objektu. Na závěr dochází k samotné grafické změně objektu, například tlačítko se zamáčkne, nebo políčko se zaškrtně atd.

2.4.3. Komunikace pomocí rozhraní UART

Multimedia Expansion Board spolu s PIC32 Starter Kitem nabízí několik možností, jak komunikovat s jinými zařízeními. Mezi základní patří komunikace pomocí rozhraní UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

UART je zařízení pro sériovou komunikaci, která pracuje v asynchronním režimu. Samotná komunikace probíhá pomocí dvou I/O pinů. Jeden z nich je pro příjem dat a obvykle bývá označován jako Rx. Druhý pin je naopak pro zasílání dat a nese označení Tx. Mezi základní komunikační protokoly, které UART podporuje, patří RS-232, RS-485 a LIN 1.2.

Komunikace pomocí protokolu RS-232C probíhá následovně. Při klidovém stavu (žádná data neodesíláme) je hodnota na Tx pinu logická 1, neboli stav vysoké úrovně napětí. Před samotným vysláním informace se objeví tzv. Start Bit, jenž má hodnotu logická 0. Následuje přenos definovaného počtu bitů, nejčastěji 8, neboli jeden byte. Po dokončení přenosu následuje tzv. Stop Bit, který má hodnotu logická 1. Následně může pokračovat přenos dalšího bytu.



Obr. 2.6: Přenos bytu přes UART, převzato z [11]

Důležité pro správný přenos dat mezi dvěma zařízeními pomocí rozhraní UART je, aby obě tato zařízení věděla přesně, kolik bitů se bude přenášet a jak dlouho je přenášen jeden bit. V praxi to znamená, že na obou zařízeních musí být před přenosem definován tento počet bitů a následně tzv. Baud Rate, což je číslo udávající počet přenesených bitů za sekundu.

Konkrétní nastavení komunikace přes UART pro mikrokontroler se nastavuje pomocí několika registrů. Je potřeba nastavit registr pro „zapnutí“ UART komunikace (ON) a dále povolit příjem (URxEN) a vysílání (UTxEN), případně nastavit mód operace prostřednictvím registrů UxMODE. Dalšími důležitými registry jsou registry pro nastavení přerušení při příjmu, případně při vysílání dat. Ke všem těmto nastavením existují v knihovně překladače příslušná makra, jež nastavování a celkově práci s tímto rozhraním usnadňují a uživatelsky zpříjemňují.

2.4.4. Záznam dat na SD kartu

Jak je napsáno v popisu periférií Multimedia Expansion Boardu, jednou z nich je i slot na microSD kartu. Práce s SD kartou probíhá pomocí další z knihoven z balíčku Microchip Application Libraries, konkrétně jde o knihovnu Memory Disk Drive File System Interface Library. Tato knihovna opět obsahuje několik vrstev pro práci nejen s SD kartou, ale také s dalšími záznamovými médii, jako jsou USB flashdisky nebo CF karty. Každé z těchto médií má svou vlastní tzv. *Physical Layer*, která obsahuje funkce pro přímou práci s těmito zařízeními.

Pro uživatele je však důležitá vrstva *File Manipulation Layer (FSIO)*. V této vrstvě probíhá práce se soubory na vyšší úrovni. Můžeme zde tedy nalézt funkce obdobné funkcím pro práci se soubory ve standardní knihovně jazyka C, jako jsou *fopen*, *fclose*, *fprintf* atd. Konkrétně v této knihovně jím odpovídají funkce *FSfopen*, *FSfclose* a *FSfprintf*.

3. POSTUP ŘEŠENÍ

3.1. Řešení problému s indukovaným napětím

Při řešení problému s indukovaným napětím bylo zvažováno několik možných postupů. Jedním z nich bylo například elektronické řešení pomocí napěťově závislého prvku – např. transilu. Nakonec však bylo zvoleno řešení spíše mechanického charakteru a to přerušit obvod vedoucí z H-můstku do motoru. Aby k tomuto nebyl potřeba další vypínač, který by vedl k složitějšímu postupu při zapínání celého vozidla, bylo navrženo přerušování obvodu pomocí elektromagnetického relé. Jednou z výhod tohoto řešení je, že do řídicího obvodu relé je možno zapojit i tzv. Stop tlačítko, jež bude sloužit k vypnutí motorů a tím pádem zastavení vozidla při nouzových a dalších situacích.

3.1.1. Výběr vhodného relé

V závislosti na parametrech motorů a parametrech H-můstku byly na relé kladeny tyto požadavky:

- Maximální proud spínaným kontaktem 30 A.
- Napětí cívky relé 12 V DC

Přestože datasheet pro H-můstky [4] udává maximální proud 40 A, maximální proud motorem je právě 30 A. Reálně je proud mnohem nižší a těchto hodnot dosahuje jen výjimečně. Co se týče napětí cívky, bylo v plánu napojit cívku na jeden z výstupu H-můstku právě o tomto napětí.

V závislosti na těchto požadavcích bylo vybráno relé s označením NVF4-2 od společnosti Forward. Toto relé splňuje oba požadavky. Další výhodou je snadné uchycení relé. Také časy přitahu (7 ms) a odpadu (5 ms) kontaktu jsou pro naši aplikaci dostačující. Částečnou nevýhodou tohoto relé je docela velký proud cívkou (133 mA) a z toho plynoucí ztrátový výkon (1,6 W). Dalším zbytečným prvkem relé je kontakt „navíc“ neboť jde o relé přepínací a ne spínací. Tento kontakt se však může využít v budoucnosti například pro signalizaci odpojených motorů.



Obr. 3.1: Zvolené relé NVF4-2, převzato z [13]

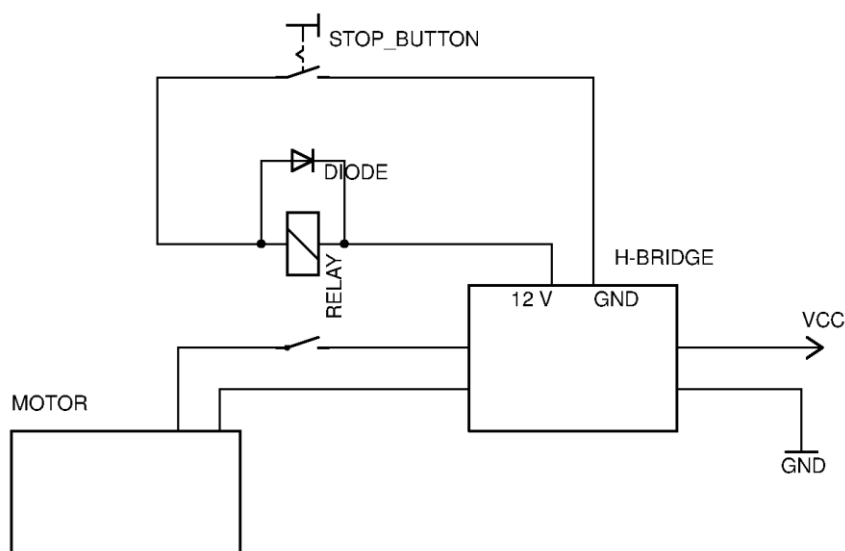
3.1.2. Zapojení relé a stop tlačítka

Jelikož relé splnilo náš požadavek na napájecí napětí cívky 12 V, byl pro napojení řídicího obvodu relé s výhodou použit výstup 12 V napětí na H-můstku. Tento vývod byl určen pro případný ventilátor, z důvodu lepšího chlazení výkonové elektroniky. Ukázalo se však, že pasivní chladič, který je součástí H-můstku, je naprosto dostačující.

Jak bylo navrženo výše, do řídicího obvodu relé bylo zakomponováno i Stop tlačítko, které je v normálním stavu zapojené, při zmáčknutí však obvod odpojí a v této poloze zůstane, dokud není opět „odmáčknuť“.

Problémem, který se při návrhu zapojení objevil, bylo špičkové napětí při odpojování cívky. Podle měření na osciloskopu toto napětí dosahovalo hodnot až -50 V, což by pravděpodobně vedlo k dalšímu poškození elektroniky. Z tohoto důvodu byla mezi kontakty cívky aplikována ochranná dioda.

Do spínaného obvodu byl zapojen jeden z vodičů vedoucích do motoru.



Obr. 3.2: Schéma zapojení relé a stop tlačítka

3.1.3. Zhodnocení funkce

Co se týče funkce navrženého řešení, doposud se neobjevil žádný problém, který byl pozorován dříve, přestože s vozidlem bylo často manipulováno ve vypnutém stavu. Jako ochrana elektroniky před indukovaným napětím se tedy toto řešení osvědčilo.

Funkce Stop tlačítka se také ukázala jako velmi užitečná. Přestože dosud nebylo použito v opravdové nouzové situaci, je velice uživatelsky přívětivé mít možnost jednoduše odpojit motory při zachování funkce veškeré elektroniky. Toto tlačítko je často využíváno například při manipulaci s programem mikrokontroleru, případně při pozorování a měření chování další elektroniky.

3.2. Detekce přítomnosti osoby

3.2.1. Volba tenzometru

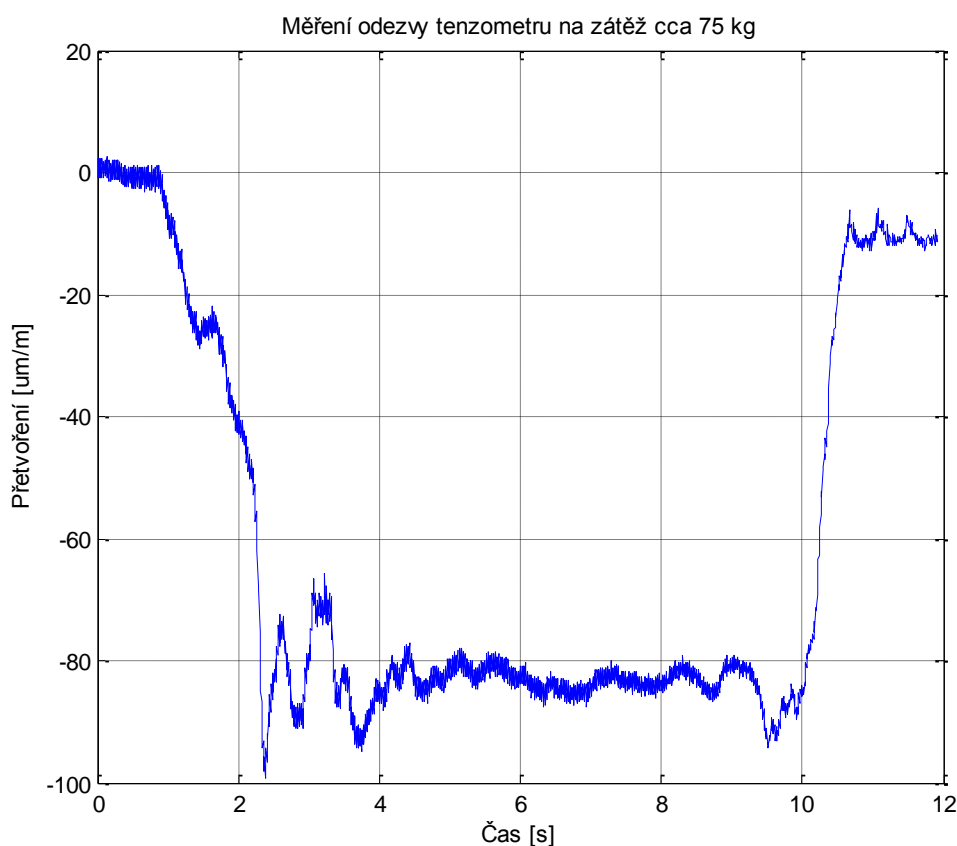
Jako senzor pro zjištění přítomnosti jezdce byl ze zjevných důvodů zvolen tenzometrický senzor. Byl zvolen tenzometr s označením 1-LY41_0.6/120 od společnosti HBM s následujícími vlastnostmi:

- Odpor $120\ \Omega \pm 0,3\%$
- k-faktor $1,77 \pm 1,5\%$

Samotný tenzometr byl tedy nalepen na místo s předpokládaným největším přetvořením. Konkrétně jde o střed základní desky (viz Příloha 3).

3.2.2. Odezva tenzometrického snímače

Po nalepení tenzometru byla pomocí přístroje MGC plus naměřena odezva na zatížení, aby bylo zjištěno, zda případný jezdec vytvoří měřitelné přetvoření. Toto měření bylo provedeno s jedním tenzometrem v zapojení čtvrtinový most. Jak lze vidět na následujícím obrázku, při hmotnosti jezdce přibližně 80 kg je přetvoření větší než $80\ \mu\text{m/m}$. Při větší zátěži (cca 100 kg) se přetvoření pohybovalo za hranicí $100\ \mu\text{m/m}$. Z tohoto lze usoudit, že tenzometrický senzor bude pro naše potřeby ideální.



Obr. 3.3: Odezva tenzometru na zátěž

Bylo rozhodnuto o nalepení dalších tří tenzometrů, které se zapojí do celého Wheatstoneova můstku. Tím získáme čtyřnásobnou odezvu na zatížení a bude možno přesněji určit hmotnost jezdce.

Z důvodu slabého signálu z tenzometrů je potřeba tyto signály zesílit pomocí zesilovače. Návrh zesilovače je popsán v kapitole 3.5.1.

Z časových důvodů nebyl signál z tenzometrických snímačů zpracován.

3.3. Zjištění údajů potřebných pro zobrazování na displeji

3.3.1. Určení stavu baterie

Stav baterie lze určit několika způsoby, které se liší svou vhodností pro konkrétní typ baterie a přesností odhadu zbývajících kapacity. Bylo rozhodnuto pro určování stavu baterie použít měření napětí této baterie. Pro daný typ baterií, konkrétně pro olověné akumulátory, by se pravděpodobně našla přesnější metoda, byla by však mnohem komplikovanější a vzhledem k našim potřebám až zbytečná, neboť hlavním cílem určování stavu baterie v našem případě, je včas upozornit jezdce na nízký stav napětí, kdy by mohlo dojít k nedostatečnému napětí pro motory s následkem nemožnosti správné stabilizace a řízení.

Napětí všech tří baterií v sérii bylo vyvedeno přes odporový dělič na DPS zdroje napětí pro řídicí elektroniku. Hodnoty odporu v tomto děliči jsou 45k a 3k3. Vztah pro výpočet výstupního napětí děliče je následující:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_1 \cdot \frac{3\,300}{45\,000 + 3\,300} \doteq U_1 \cdot 0,06832, \quad (3)$$

kde

U_2	výstupní napětí děliče [V]
U_1	vstupní napětí děliče [V]
R_2	„spodní“ odpor v děliči [Ω]
R_1	„horní“ odpor v děliči [Ω].

Toto převedené napětí je následně přivedeno na AD převodník řídicího mikrokontroleru. Jde o unipolární desetibitový AD převodník, který pracuje s napětíovou úrovní 3,3 V, což v praxi znamená, že 3,3 V odpovídají po převodu maximálnímu desetibitovému číslu, neboli 1023 a minimální hodnota, neboli 0 V odpovídá nule. Samotný přepočítání napětí probíhá následovně:

$$U_{10bit} = \frac{U_{A/D}}{\Delta u}, \quad (4)$$

$$\Delta u = \frac{U_{ref}}{2^{10}} = \frac{3,3}{1024} = 3,223 \cdot 10^{-3} \text{ V}, \quad (5)$$

kde

U_{10bit}	napětí v 10bitové podobě na výstupu AD převodníku,
-------------	--

$U_{A/D}$	napětí na vstupu AD převodníku [V],
Δu	napětí odpovídající jednomu dílku [V],
U_{ref}	referenční napětí mikrokontroleru [V].

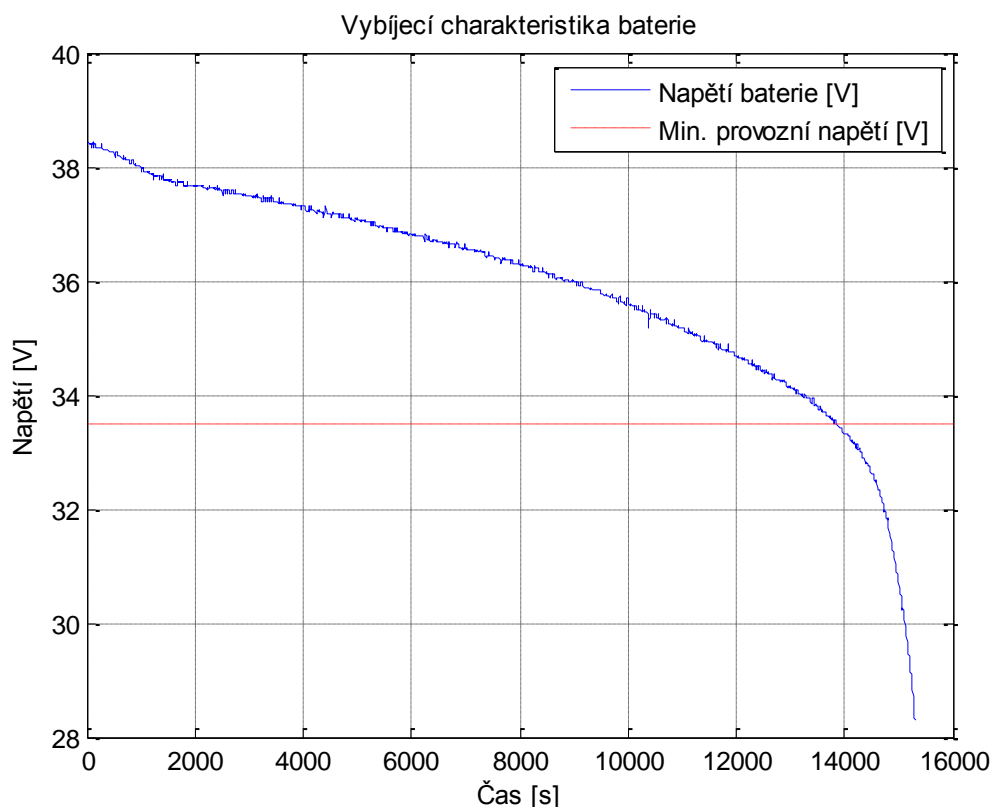
Výstup AD převodníku je následně zpracován v řídicím mikrokontroleru. Jelikož signál z AD převodníku měl velmi velké výkyvy hodnot, musel být výrazně filtrován. Nakonec se osvědčil filtr, který pracuje s již lehce filtrovanými hodnotami za posledních deset sekund, ze kterých vypočte aritmetický průměr. Nevýhodou je sice velmi dlouhá odezva, která je však pro účely zobrazení stavu baterie naprosto dostačující. Takto filtrovanou hodnotu zasílá mikrokontroler do zobrazovacího zařízení k dalšímu zpracování.

Minimální hodnota napětí pro bezpečnou jízdu, tedy aby byla zachována možnost stabilizace, je 33,5 V, jak lze najít v [2]. Podle popisu integrované nabíječky baterií v [1] se baterie nabíjejí na maximální hodnotu 43,5 V, ale po odpojení nabíječky toto napětí rychle klesá. Reálně naměřené napětí asi 10 minut po odpojení nabíječky je maximálně 39 V, pokud však zapojíme zátěž, toto napětí ještě mírně klesne přibližně na 38,5 V. Tuto hodnotu tedy lze považovat za maximální napětí, které, spolu s minimálním napětím 33,5 V, bude pro naše určení stavu klíčové. V následující tabulce lze vidět tyto klíčové hodnoty přepočteny pomocí vzorce pro odporový dělič a AD převodník.

	U_1 [V]	U_2 [V]	U_{10bit}
U_{max}	38,5	2,63032	816
U_{min}	33,5	2,28872	710

Tabulka 1: Převod důležitých napětí

Bohužel tyto hodnoty nám k přijatelnému určení zbývajících kapacity baterie nedostačují, neboť vybíjecí charakteristika baterie není vůbec lineární. Z tohoto důvodu byla pomocí logování stavu baterie na SD kartu naměřena vybíjecí charakteristika.



Obr. 3.4: Vybíjecí charakteristika baterie

Tato charakteristika byla naměřena při běhu motorů bez zátěže. Při reálné jízdě můžeme očekávat větší výkyvy hodnot a také mnohem rychlejší vybití. Charakteristika je také závislá na teplotě atd. Z tohoto důvodu není možné určovat z napětí přesné procenta zbytkové kapacity baterie, jako je tomu u moderních přístrojů. Bylo tedy rozhodnuto o rozdělení ukazatele baterie na pět stavů, které jsou znázorněny procenty od 100% do 0% po 25%. Hranice mezi těmito stavy byla určena z naměřené charakteristiky. V následující tabulce lze vidět přiřazení hodnot napětí k procentům.

Napětí [V]	> 37,4	37,4 – 36,6	36,6 - 35,4	35,4 – 33,5	< 33,5
Procenta	100%	75%	50%	25%	0%

Tabulka 2: Přiřazení napětí baterie k procentům

Toto přiřazení probíhá v PIC Starter Kitu, kde je zajištěno, aby ukazatel „nepřeskakoval“ mezi stavy, když je napětí blízko hranice. Tento algoritmus je popsán v kapitole 3.4.3.

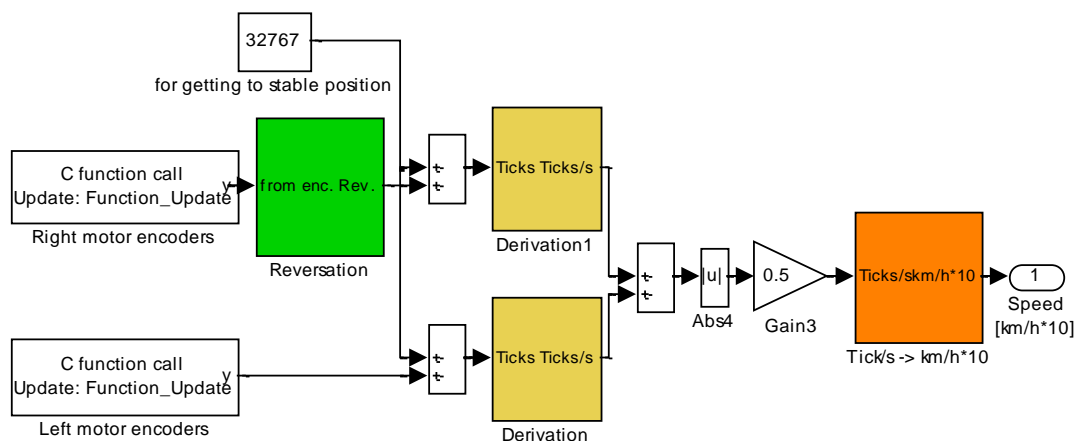
3.3.2. Určení rychlosti vozidla

Určování rychlosti vozidla bylo provedeno pomocí enkodérů, jenž jsou připevněny k použitým motorům. Stejně jako v původním projektu, kdy byly tyto enkodéry použity pro řízení vozidla, se objevil problém s jejich nízkým rozlišením.

Toto rozlišení je 8 tiků na otáčku motoru, tudíž 72 tiků při otáčce celého kola. Pro určování rychlosti by však toto rozlišení mohlo být dostačující.

Samotný signál z enkodérů byl zpracován pomocí souborů funkcí pro Kerhuel toolbox QEI Function. Tyto byly převzaty z projektu Car4, což je projekt experimentálního vozidla dlouhodobě vyvíjený v Mechlabu. Výstupem po zpracování je číslo typu uint16 (16bitový unsigned integer), které je po zapnutí mikrokontroleru rovno nule a při každém tiků v kladném směru se přičítá a v záporném odečítá.

Tento signál je zpracován následovně.



Obr. 3.5: Zpracování signálu z enkodérů

Nejprve je tedy signál z pravého motoru reverzován, protože v základním stavu byl signál z jeho enkodéru opačný. Následně se k oběma signálům přičte číslo 32767, což je polovina maximální hodnoty datového typu uint16. Tato modifikace signálu z enkodérů je důležitá vzhledem k následující derivaci, protože při zapnutí vozidla je hodnota signálu z enkodérů rovna nule. Za předpokladu, že vozidlo se bude stabilizovat na místě a na začátku tedy popojíždět vpřed a vzad, skákal by signál z enkodéru mezi malými kladnými hodnotami a hodnotami na horní hranici datového typu uint16 (maximální hodnota je 65535), čímž by vznikaly obrovské derivace. Přičtením konstanty se tedy signál dostane do stabilní oblasti a na hranici se dostane až po delší jízdě. V tomto případě už očekáváme jen jednu hodnotu velké derivace při překročení hranice uint16 a pokud se tato hodnota objeví, je v subsystému derivace ošetřeno, aby byla dále poslána předchozí hodnota.

Derivace signálu probíhá s časovou konstantou 0,1 s, čímž je zajištěna dostatečná přesnost, při adekvátní rychlosti odezvy. Při takto malém rozlišení enkodérů, by při menší časové konstantě docházelo k výrazným nepřesnostem, protože za menší časový úsek, např. 0,01 s, by enkodér poslal maximálně jeden až dva tiky a po diskrétní derivaci s touto časovou konstantou by výsledné hodnoty „skákal“ o stovky tiků za sekundu.

Derivace signálů z obou motorů jsou následně zprůměrovány a je vytvořena absolutní hodnota, protože hodnota rychlosti je zasílána v neznaménkovém datovém typu. Následně už jen pomocí série bloků gain přepočtena hodnota z tiků/s na km/h*10. Násobení deseti je implementováno opět z důvodu zasílání hodnoty rychlosti přes UART a díky němu je zachována přesnost na jedno desetinné místo. Před samotným odesláním je signál ještě filtrován.

3.3.3. Určení náklonu vozidla

Náklon vozidla se používá ke stabilizaci a je určen z gyroskopického senzoru a akcelerometru pomocí tzv. Complementary filtru. Pro odesílání náklonu do zobrazovacího zařízení bylo potřeba provést pouze malé úpravy. Konkrétně jde o přičtení konstanty, aby bylo možné zasílat v neznaménkovém datovém typu, a vynásobení deseti opět kvůli přesnosti na jedno desetinné místo.

3.4. Zobrazování jízdních vlastností a zápis dat na SD kartu

3.4.1. Komunikace po sériové lince

Pro komunikaci mezi řídicí jednotkou HUMMeRu a Multimedia Expansion Boardem bylo zvoleno rozhraní UART.

Samotné spojení bylo navázáno docela snadno. Programování řídicí jednotky probíhá pomocí Kerhuel toolboxu v prostředí Simulink. Tento toolbox přímo obsahuje bloky pro sériovou komunikaci, nastavení tedy proběhlo pomocí bloku UART Configuration. Samotné zasílání a přijímání dat je řešeno bloky Tx Output a Rx Input.

Nastavení UARTu v MEB probíhalo již složitěji, neboť celé programování probíhá v jazyce C. Knihovna compileru naštěstí obsahuje makra pro snadnější nastavení tohoto rozhraní a nemusíme tedy přímo nastavovat jednotlivé konfigurační registry. Samotný příjem dat byl řešen pomocí přerušení při každém přijatém bytu informace.

V obou zařízeních byla nastavena hodnota Baud Rate na 9600 bitů za sekundu. Tato hodnota je rychlostně pro naše potřeby naprosto dostačující a není příliš vysoká, tím pádem by nemělo docházet k výrazným ztrátám informací.

Problémem rozhraní UART je, že jde o sériovou linku, tudíž pro zasílání více než jednoho druhu dat je potřeba vytvořit paketovací funkci. Nejprve bylo potřeba rozhodnout, jaká data bude potřeba zasílat, případně jakým směrem. Vybraná data můžeme snadno vidět na následujícím obrázku.

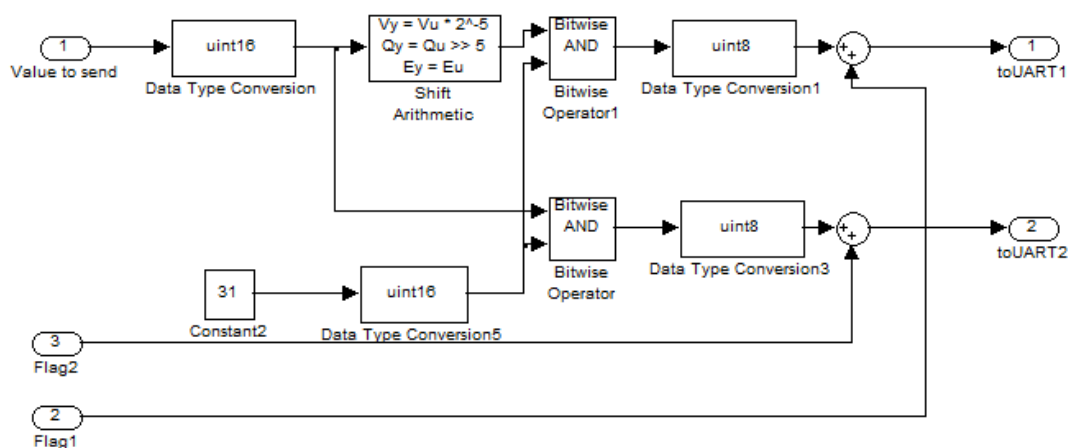


Obr. 3.6: Data zasílána přes sériovou linku

Jak lze vidět, zasílány jsou tři různé typy dat. Rychlost získaná pomocí enkodérů, napětí baterie z AD převodníku a náklon vozidla vypočtený pomocí Complementary filtru.

Dalším omezením rozhraní je možnost zasílat maximálně 8 bitů neboli čísla v rozsahu 0-255. Toto je naprosto nedostačující už z důvodu, že například napětí baterie z AD převodníku je 10 bitové číslo. Byla tedy vytvořena jednoduchá paketovací funkce na zasílání právě 10 bitových čísel.

Tato funkce spočívá v rozdělení zasílaných 8 bitů na 5 spodních bitů, které nesou vlastní informaci a 3 horní bity, jenž označují, o jakou informaci jde, tzv. flag. Jelikož z horních bitů můžeme poskládat osm různých čísel, za předpokladu že tedy zasíláme 10bitová čísla, můžeme pomocí této funkce zasílat 4 tato 10bitová čísla. Čtvrtá přenášená proměnná byla pojmenována *Other* a je k dispozici k zasílání informací z řídicí jednotky, které budou v danou chvíli potřeba. Na následujícím obrázku je vytvoření této funkce v prostředí Simulink.



Obr. 3.7: Paketovací funkce

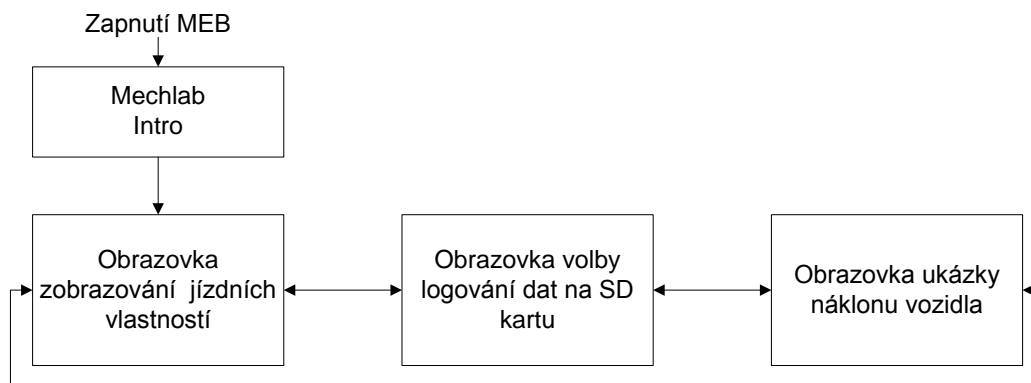
Jelikož máme čtyři zasílané proměnné, po průchodu touto funkcí máme 8 různých hodnot pro posílání přes rozhraní UART. Postupné zasílání těchto čísel je provedeno blokem Multiport Switch, který je řízen blokem Counter Limited. Tímto je docíleno změny zasílaného čísla každých 10 ms. Všechny proměnné jsou tedy zaslány za 80 ms.

Co se týče opětovného sestavení celých 10bitových čísel v MEB, byla vytvořena funkce *UARTdataSort*, která na základě flagů určí, o jaká data se jedná a zpětně sestaví celé číslo a přiřadí do proměnné, jež zastupuje.

3.4.2. Základní popis GUI

Pro zobrazování jízdních vlastností a volby pro logování dat na SD kartu bylo v jazyce C vytvořeno uživatelské prostředí (GUI) pro Multimedia Expansion Board. Všechny prvky tohoto prostředí jsou ovládány prostřednictvím dotykové obrazovky. Samotné uživatelské prostředí se skládá ze tří obrazovek, mezi kterými se přechází pomocí šipek v pravém dolním rohu, z každé obrazovky se tedy dostaneme na dvě sousední. V případě budoucího rozšiřování tohoto prostředí je velice jednoduché v kódu přidat další obrazovku.

V současné verzi je rozložení obrazovek následující:



Obr. 3.8: Rozložení obrazovek GUI

Při zapnutí se tedy nejprve na půl sekundy zobrazí statický obrázek s nápisem Mechatronics Laboratory. Následně program přejde na obrazovku zobrazení jízdních vlastností.

3.4.3. Obrazovka zobrazení jízdních vlastností



Obr. 3.9: Obrazovka zobrazení jízdních vlastností

Obrazovka zobrazení jízdních vlastností se skládá z několika prvků. Nejvýraznější je „tachometr“ na zobrazení rychlosti. K tomuto účelu byl použit GOL objekt Meter. Aktuální rychlost v km/h s přesností na jednu desetinu je získávána z enkodérů, jak bylo vysvětleno v kapitole 3.3.2. V každém cyklu programu je tedy zkontrolováno, jestli nastavená rychlost je shodná s proměnnou speed a pokud není, překreslí ručičku do nové polohy.

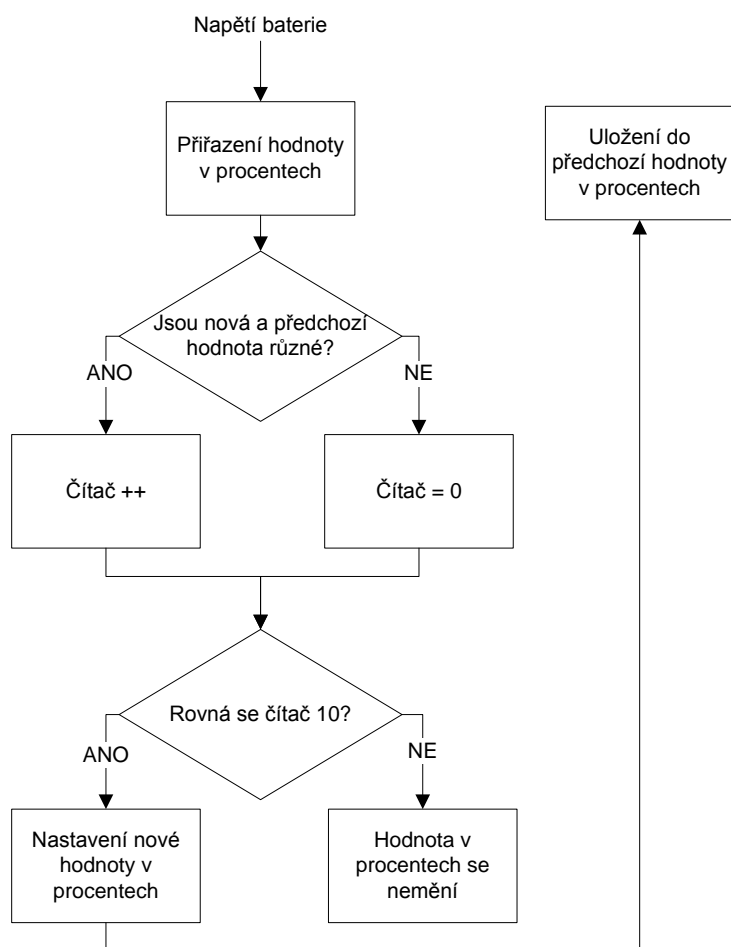
S rychlostí je částečně spojen ukazatel vzdálenosti, neboli rámeček pod nápisem „Distance“. Jelikož z řídicí jednotky do MEB zasíláme pouze rychlost a ne vzdálenost, je potřeba vzdálenost zpětně z rychlosti vypočítat. Toto se provádí jednoduchou

diskrétní integrací aktuální rychlosti s časovým krokem 0,1 s. Tento časový krok získáváme pomocí přerušení časovače, které probíhá právě s touto periodou.

S tímto časovačem souvisí i ukazatel času, který lze vidět pod nápisem „Time“. Ukazatel času ukazuje čas od zapnutí vozidla, případně MEB, pokud byl z nějakého důvodu odpojen. Celý ukazatel je řízen pomocí jedné proměnné *RTseconds*, ve které, jak název napovídá, je uložen reálný čas v sekundách a pomocí dělení a modula je rozdělen na hodiny, minuty a sekundy.

Vedle nápisu „Time“ je umístěno tlačítko „rst“, které slouží k vynulování stavu ujeté vzdálenosti a uběhlého času.

Dalším prvkem na této obrazovce je ukazatel stavu baterie. Tento je řešen GOL objektem Progress bar. Tento prvek slouží k zobrazení procent, je tedy pro potřebu zobrazení stavu baterie ideální. Stav baterie se zobrazuje po 25%, jak bylo uvedeno v kapitole 3.3.1. Problémem ukazatele baterie jsou různé napěťové špičky při větší zátěži atd. Tyto jsou částečně potlačeny filtrováním v řídicí jednotce, ale pro jistotu byl ke změně zobrazeného stavu přidán algoritmus, který zajistí jistou hysterezi při přepínání mezi jednotlivými stavy. Celá funkce zobrazení stavu baterie, tedy i následující algoritmus, probíhá s periodou jedna sekunda.

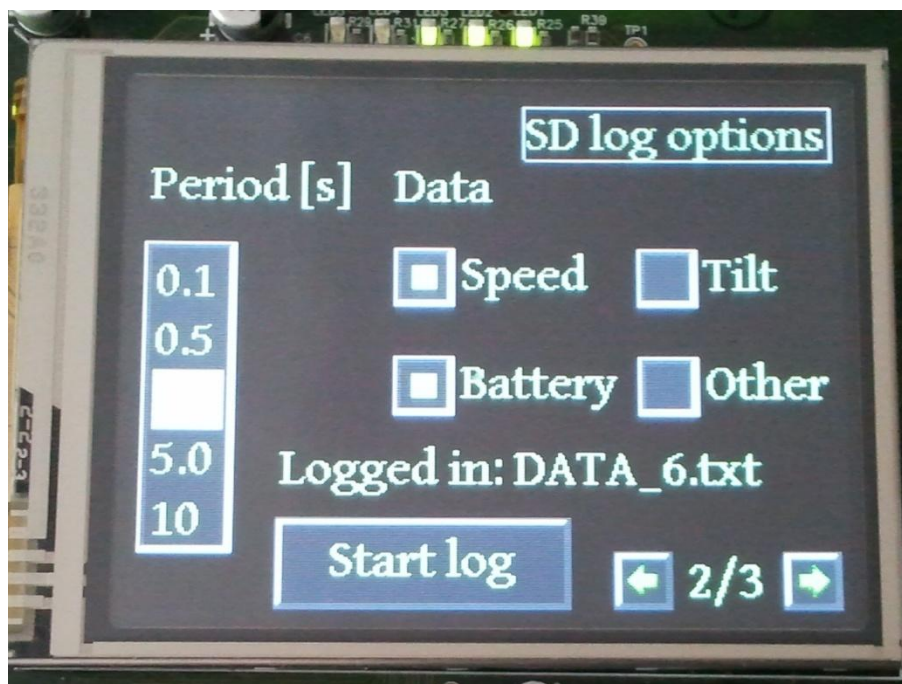


Obr. 3.10: Algoritmus hystereze ukazatele baterie

Výsledkem tohoto algoritmu je, že ukazatel baterie se přepne do nového stavu, pouze pokud hodnota napětí překročila hraniční hodnotu na více než 10 sekund, což by mělo omezit přeblikávání stavu baterie při jakýchkoli nestandardních výchylnkách.

V pravé spodní části obrazovky lze nalézt šipky pro přepínání obrazovek s výpisem aktuální obrazovky a celkového počtu obrazovek.

3.4.4. Obrazovka volby logování dat na SD kartu



Obr. 3.11: Obrazovka volby logování dat na SD kartu

Na této obrazovce lze nalézt uživatelské volby pro logování dat. V levé části je GOL objekt Listbox s výpisem pěti hodnot. Tyto slouží k výběru periody logovaných dat, neboť například pokud je zapotřebí naměřit vybíjecí charakteristiku baterie, není potřeba zapisovat tyto data každou desetinu sekundy, ale úplně postačí perioda zápisu deset sekund.

Pravá část obrazovky slouží k výběru logovaných dat, kde si prostřednictvím GOL objektů Checkbox můžeme vybrat, která data se mají logovat.

Důležitým prvkem je tlačítko Start log, prostřednictvím kterého se samotné logování spouští. Po zmáčknutí tlačítko zůstane zmáčknuté a objeví se na něm text Stop log. Zároveň se nad tlačítkem objeví text Logging to: název_souboru, kde název_souboru zastupuje název aktuálního souboru, do kterého probíhá výpis hodnot, například DATA_1.txt. Po opětovném zmáčknutí tlačítka se logování zastaví, tlačítko se odemáčkne a změní opět na Start log a text se změní na Logged to: název_souboru.

Jedním ze zajímavých prvků na této obrazovce jsou vazby mezi jednotlivými objekty. Jelikož například nemá smysl logovat, aniž by byla vybrána nějaká data, je tlačítko Start log v tzv. disabled stavu, neboli je ztmaveno a nelze zmáchnout, pokud není označen alespoň jeden checkbox. Na druhou stranu, pokud je tlačítko zamáčknuté a probíhá samotný výpis hodnot, jsou v disabled stavu ostatní prvky pro výběr dat a periody, neboť nemá smysl tyto hodnoty v průběhu logování měnit.

Dalším problémem, který bylo potřeba vyřešit, bylo zachování veškerého nastavení při přechodech mezi obrazovkami. Samotný MEB totiž pracuje vždy pouze se současnou obrazovkou a jejími objekty a ostatní obrazovky vždy vykresluje znovu v základním stavu. Zachování nastavení bylo řešeno především prostřednictvím globálních proměnných, které jsou použity nejen pro uchování stavu jednotlivých objektů, ale používá je i funkce pro logování na SD kartu k určení nastavených parametrů výpisu.

3.4.5. Obrazovka ukázky náklonu vozidla



Obr. 3.12: Obrazovka ukázky náklonu vozidla

Tato obrazovka slouží k ukázce funkce Complementary filtru, který vypočítává náklon vozidla. Pro zobrazení hodnoty vypočteného úhlu náklonu byl opět zvolen GOL objekt Meter. Bohužel tento objekt neumí zobrazovat záporné hodnoty, nemohl být tedy použit přímo úhel z Complementary filtru, který udává vychýlení základny od rovnovážné polohy neboli hodnoty kolem 0. Z tohoto důvodu byla k vypočtenému úhlu přičtena hodnota 90, a tím byla získána hodnota odchylky normály základny od rovnovážné polohy.

Původně také bylo v plánu, aby byly hodnoty úhlu na meteru rozmístěny standardně jako na kružnici. Ukázalo se však, že při jízdě jsou vzhledem ke stabilizaci odchylky tak malé, že na ukazateli podle původního rozmístění téměř nebyly zřetelné, bylo tedy přistoupeno na změnu měřítka.

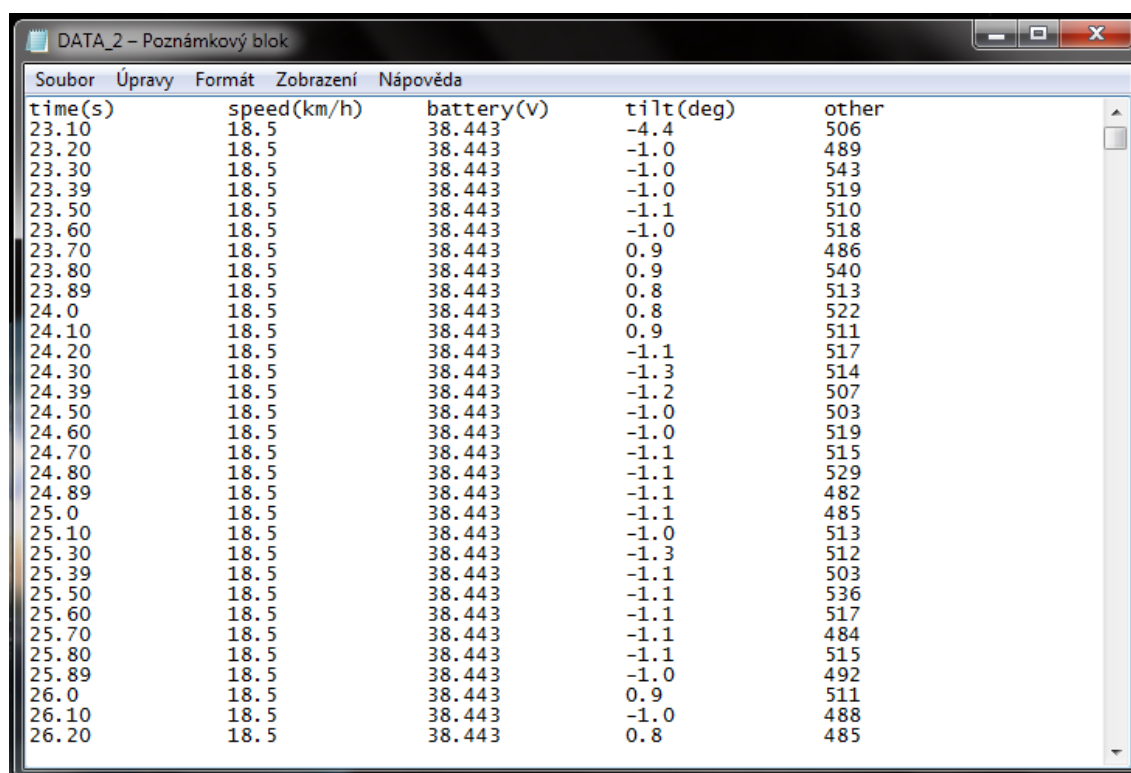
3.4.6. Zápis dat na SD kartu

Softwarové řešení logování na SD kartu je vyřešeno následovně. Po stisku tlačítka Start log, se inicializují funkce pro práci s SD kartou a načte se samotná karta. Následně se na SD kartě vytvoří textový soubor DATA_X.txt. Před samotným vytvořením souboru se nejprve zjistí kolik takovýchto souborů už na kartě je a za X

dosadí pořadové číslo současného souboru. Poté se do souboru vypíše označení jednotlivých logovaných veličin.

Samotné logování probíhá v rámci obsluhy přerušení. Toto „interní“ přerušení je vyvoláno časovačem s periodou 0,1 s. V rámci obsluhy přerušení se tedy zavolá funkce *SDwork*, v rámci které je řešeno veškerá práce s SD kartou. Tato funkce nejprve otevře soubor pro logování dat, následně zjistí, která data si uživatel přeje logovat a tyto vypíše. Na závěr opět soubor uzavře. Toto uzavření v každém cyklu je velmi důležité, neboť neuzavřený soubor nejde přechíst a v případě, že by se celý program zasekl, nebo by došlo k přerušení napájení MEB, aniž by bylo ukončeno logování dat tlačítkem Stop log, byla by všechna data ztracena.

Výsledkem je tedy textový soubor např. DATA_1.txt, který obsahuje, při zvolení všech dat pro logování, pět sloupců. V prvním řádku jsou názvy logovaných veličin: time(s), speed(km/h), battery(V), tilt(deg), other. Následně je v každém dalším řádku vypsán čas a hodnoty veličin v daném čase, viz následující obrázek.



time(s)	speed(km/h)	battery(V)	tilt(deg)	other
23.10	18.5	38.443	-4.4	506
23.20	18.5	38.443	-1.0	489
23.30	18.5	38.443	-1.0	543
23.39	18.5	38.443	-1.0	519
23.50	18.5	38.443	-1.1	510
23.60	18.5	38.443	-1.0	518
23.70	18.5	38.443	0.9	486
23.80	18.5	38.443	0.9	540
23.89	18.5	38.443	0.8	513
24.0	18.5	38.443	0.8	522
24.10	18.5	38.443	0.9	511
24.20	18.5	38.443	-1.1	517
24.30	18.5	38.443	-1.3	514
24.39	18.5	38.443	-1.2	507
24.50	18.5	38.443	-1.0	503
24.60	18.5	38.443	-1.0	519
24.70	18.5	38.443	-1.1	515
24.80	18.5	38.443	-1.1	529
24.89	18.5	38.443	-1.1	482
25.0	18.5	38.443	-1.1	485
25.10	18.5	38.443	-1.0	513
25.30	18.5	38.443	-1.3	512
25.39	18.5	38.443	-1.1	503
25.50	18.5	38.443	-1.1	536
25.60	18.5	38.443	-1.1	517
25.70	18.5	38.443	-1.1	484
25.80	18.5	38.443	-1.1	515
25.89	18.5	38.443	-1.0	492
26.0	18.5	38.443	0.9	511
26.10	18.5	38.443	-1.0	488
26.20	18.5	38.443	0.8	485

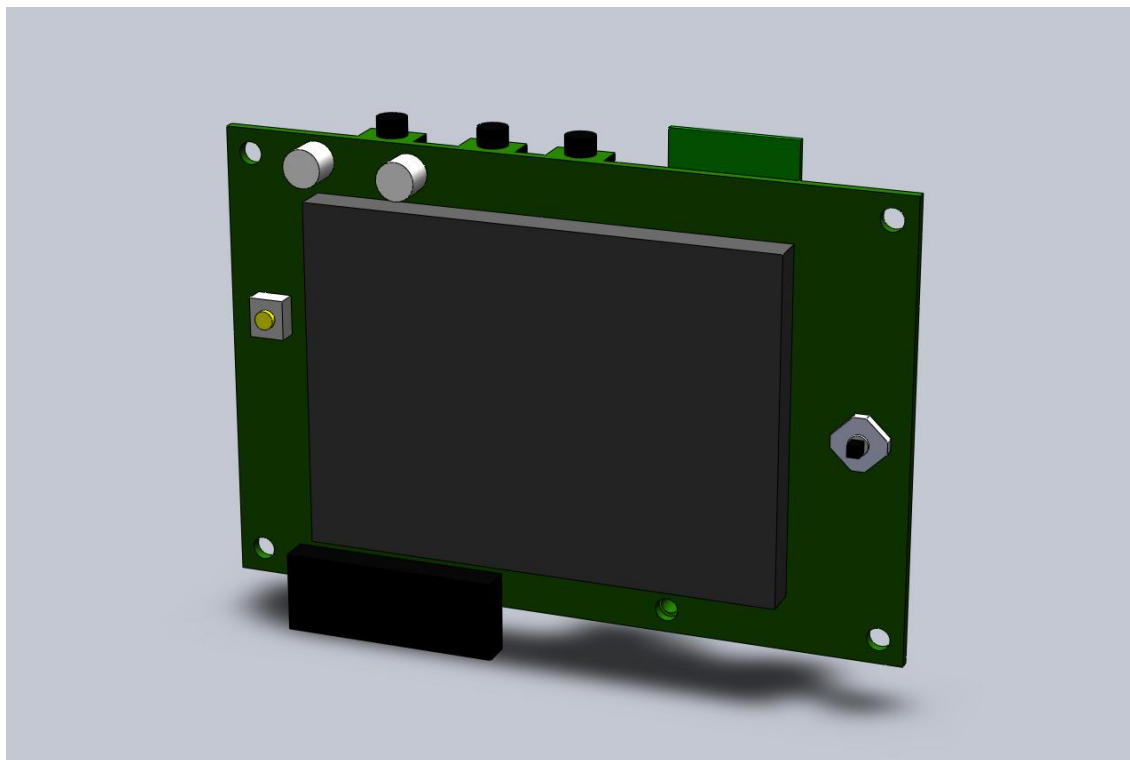
Obr. 3.13: Ukázka souboru s logovanými daty

3.4.7. Upevnění a kryt displeje

Aby byl displej snadno dostupný a viditelný, byl MEB upevněn na řídítka vozidla. V této poloze je však velmi náchylný na případné pády vozidla a pravděpodobně by byl při takovém pádu nevratně poškozen. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o návrhu krytu displeje, který bude mít jak ochrannou funkci, tak bude sloužit k jednoduchému upevnění.

Vzhledem k nedostatku zkušenosti autora práce s jakýmkoli návrhy v tomto směru, byl tento návrh vytvořen Ing. Tomášem Riplem. Pro usnadnění jeho práce byly

vytvořeny v programu SolidWorks 3D modely některých prvků, především zjednodušený model Multimedia Expansion Boardu s připojeným PIC32 USB Starter kitem. Mezi další vytvořené modely patří například model devítipinového konektoru D-sub, který bude sloužit k jednoduchému připojení jak napájení, tak sériové linky. Do krytu displeje byl také zabudován piezoměnič, díky kterému je možno akusticky upozornit na různé chybové stavy například nízké napětí baterie.



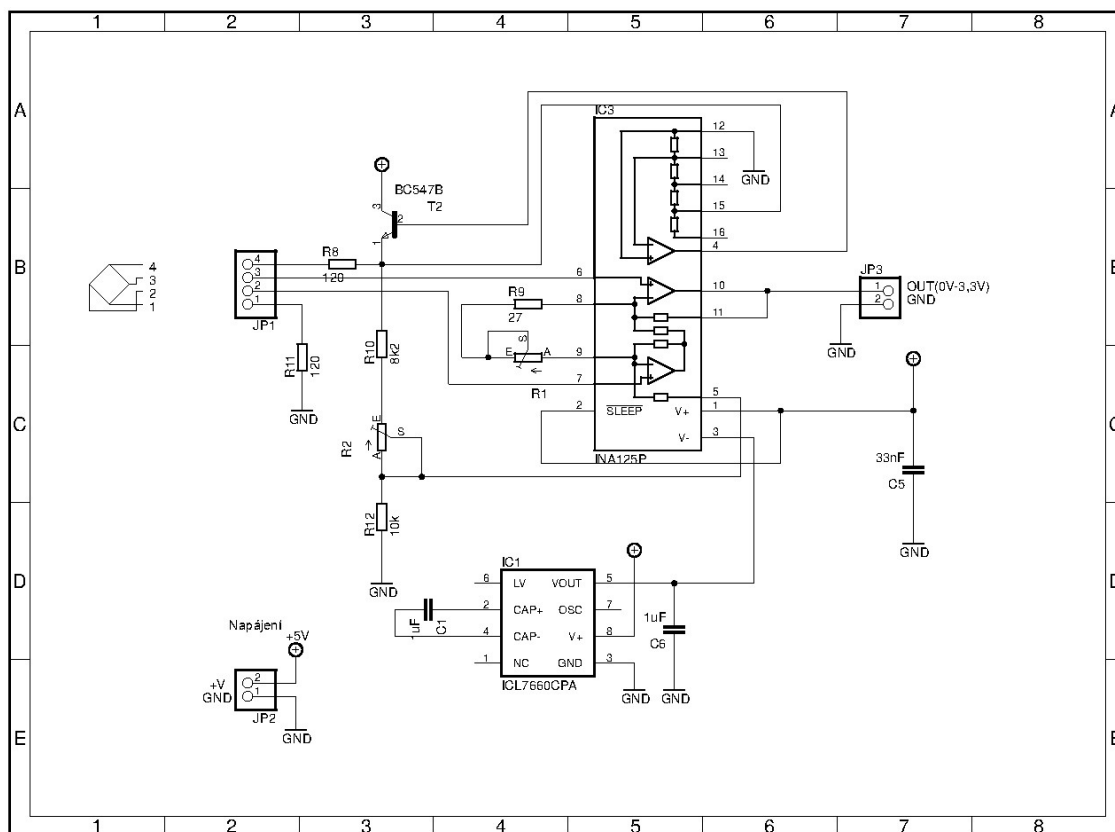
Obr. 3.14: Zjednodušený model Multimedia Expansion Boardu

3.5. Návrh potřebné elektroniky

3.5.1. Návrh zesilovače pro tenzometry

Jak bylo zmíněno výše, pro zpracování signálu z tenzometrů je zapotřebí signál zesílit. K tomuto účelu byl zvolen operační zesilovač INA125. Tento zesilovač se často používá pro zesílení signálu z tenzometru v zapojení kompletního můstku. Zapojení zesilovače bylo provedeno v podstatě podle datasheetu [14], pouze s několika malými úpravami. Konkrétně bylo použito stejné zapojení jako v [5].

Vzhledem k standardnímu zapojení obsahuje navíc převodník napětí ICL7660, který slouží k převedení kladného napětí na záporné pro symetrické napájení zesilovače. Dalším nestandardním prvkem je tranzistor BC547 sloužící k posílení napájení tenzometrického můstku. Dále lze v zapojení najít dva trimry, jež slouží k nastavení zesílení a pracovního bodu.



Obr. 3.15: Schéma zapojení zesilovače tenzometrů

3.5.2. Úpravy DPS řídící elektroniky

Vzhledem k přidáním senzorům a perifériím, se částečně rozrostly požadavky na DPS řídící elektroniky, která přivádí a upravuje signály pro řídící mikroprocesor dsPIC33FL128MC804 a řeší napájení jednotlivých periférií. Některé periférie, které předtím z různých důvodů nebyly používány, tedy enkodéry a napětí baterie, již měly na DPS vyvedeny konektory pro připojení, a stačilo je tedy správně zapojit.

V původním projektu se také počítalo s tím, že na projektu bude dále někdo pracovat, DPS řídící elektroniky byla tedy dostatečně dimenzována pro případné další užití. Můžeme zde tedy najít také konektor pro připojení displeje s napájením 5 V a vyvedenými signály pro komunikaci přes UART, dalšími volnými konektory je dvojice konektorů, jejichž signál vede na mapovatelné piny mikrokontroleru.

Jediným problémem se tedy ukázalo připojení tenzometrického snímače. Napájení lze provést bez problému, ale problematické by v původní verzi bylo přivedení signálu ze senzoru na AD převodník. Jediný volný pin pro AD převodník je totiž využit právě pro komunikaci s displejem.

Jelikož však UART patří k perifériím, jež lze mapovat na volné piny, je řešení poměrně snadné a to přesunout komunikaci na některé z volných pinů a současné piny s AD převodníkem použít pro signál z tenzometrického senzoru.

Po této úpravě je na DPS stále jeden volný konektor pro případné další použití v budoucnosti.

3.6. Kontrola správnosti údajů ze senzorů

Důležitým prvkem vozidla jsou bezpečnostní algoritmy, přece jen vozidlo primárně slouží k přepravě osob. Současné bezpečnostní algoritmy jsou popsány v [2]. K těmto stávajícím algoritmům byla přidána kontrola údajů ze senzorů.

3.6.1. Kontrola senzorů určujících náklon vozidla

Mezi nejdůležitější senzory, které vozidlo obsahuje, patří senzory k určení náklonu vozidla. Konkrétně tedy jde o gyroskopický senzor a akcelerometr. Jelikož jsou tyto senzory klíčové ke stabilizaci a tedy vlastní funkci vozidla, je důležité, aby při jejich případné poruše, například při poruše jejich napájení, nebo mechanickému poškození, zareagoval nějaký bezpečnostní algoritmus. Jako nejlogičtější se jeví vypnout motory vozidla, neboť v případě špatných údajů z těchto senzorů se vozidlo může začít chovat naprosto nekontrolovatelně.

Z tohoto důvodu byly experimentálně stanoveny meze, mezi kterými se hodnoty z těchto senzorů standardně pohybují. Tyto meze lze vidět v následující tabulce.

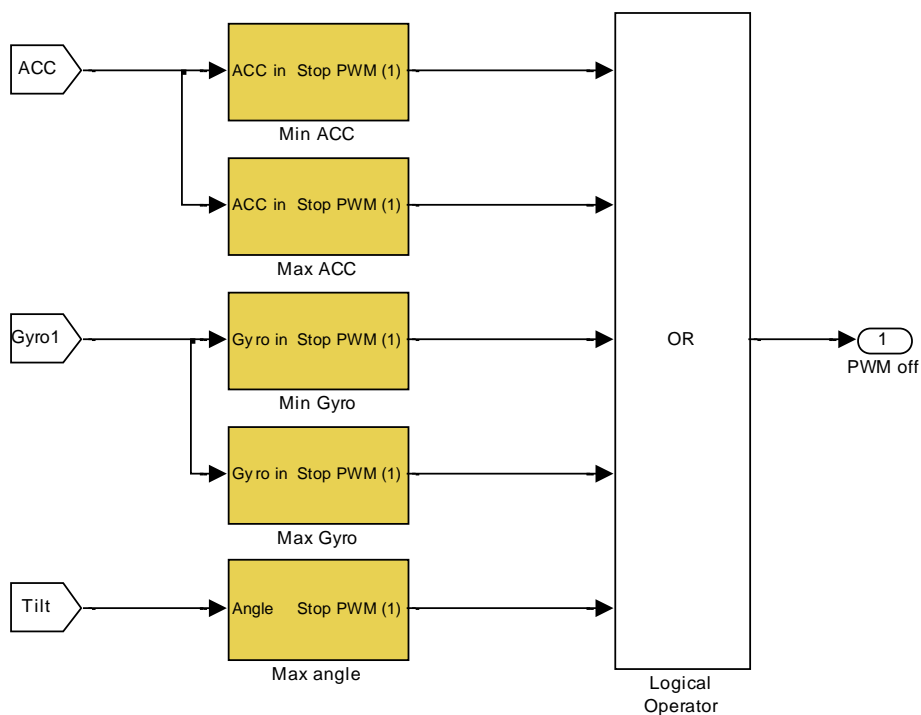
	Minimální hodnota	Maximální hodnota
Gyroskopický senzor	100	900
Akcelerometr	250	900

Tabulka 3: Mezní hodnoty z gyroskopu a akcelerometru

V případě, že jsou tyto meze dlouhodobě překročeny, jedná se o chybový stav. Samozřejmě je potřeba počítat s tím, že se můžou ojediněle objevit špičky mimo tyto mezní hodnoty. Proto byl do algoritmu začleněn čítač, který se začne inkrementovat ve chvíli překročení mezí a po vrácení se do normálních hodnot je vynulován. Tím, je zajištěno, že k vypnutí motoru dojde pouze při „dlouhodobé“ poruše, konkrétně pokud chybový stav trvá přibližně 0,5 s. Zásah tohoto algoritmu je nevratný, neboli pro opětovné zapnutí motorů je potřeba restartovat celou řídicí elektroniku.

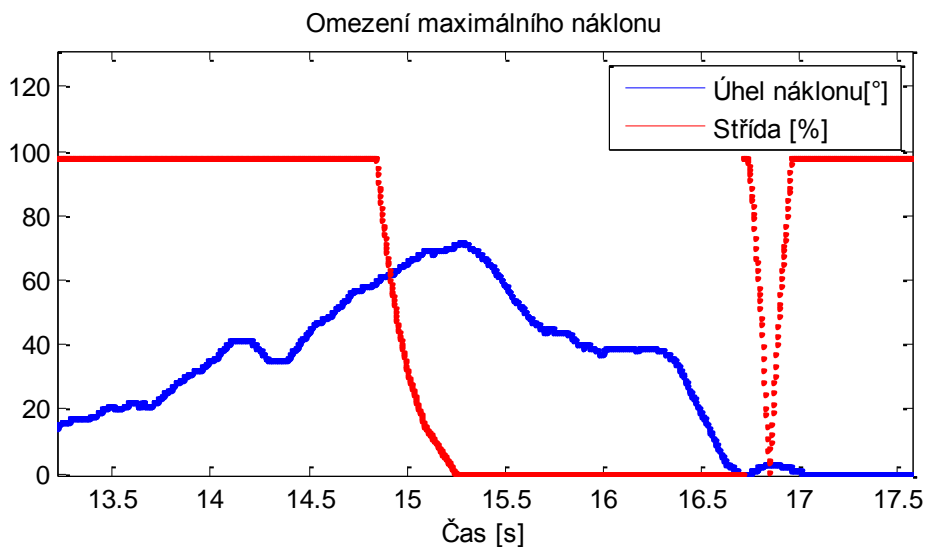
Každá z mezí se vyhodnocuje zvlášť a při chybovém stavu se na výstupu daného bloku objeví 1. Signály ze všech těchto algoritmů jsou následně vyhodnoceny logickým operátorem OR, který slouží k jednoduchému sloučení všech bezpečnostních algoritmů. Výstup se dále vede do bloku pro vypnutí motorů.

Samotný algoritmus vypnutí motorů pracuje tak, že při zaznamenání chybového stavu se na výstup PWM signálu přivede nula. Jelikož při přímém přivedení nuly je zbytečně zatěžována výkonová elektronika, je pomocí diskrétního filtru prvního řádu s velkou časovou konstantou střída postupně snižována z předchozí hodnoty na nulu.



Obr. 3.16: Kontrola údajů ze senzorů

Během testování této kontroly senzorů bylo zjištěno, že při odpojení jednoho ze senzoru se hodnota úhlu vypočteného pomocí Complementary filtru nebývávala zvýší, a pohybuje se kolem 100 stupňů. Z tohoto důvodu byla jako pojistka vytvořena funkce omezení maximálního úhlu náklonu. Tento byl stanoven na 60 stupňů, což je úhel, při kterém dochází ke kontaktu základny se zemí. V případě překročení tohoto úhlu je také přivedena do bloku OR logická 1. Tento zásah je však vratný a odezní při opětovném uvedení vozidla do rovnovážné polohy, jak lze vidět v následujícím grafu.



Obr. 3.17: Omezení maximálního náklonu

4. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo doplnit platformu nestabilního balancujícího vozidla o několik dalších prvků, především o displej zobrazující jízdní vlastnosti.

V první části práce jsou uvedeny základní informace o funkčním prototypu nestabilního balancujícího vozidla, který vznikl v minulém roce v rámci tzv. projektu HUMMeR. Následně je popsán problém s indukovaným napětím v motorech, jenž se během provozu vozidla objevil a jehož řešení je také součástí této práce. Dále je provedena krátká rešerše na možné způsoby zjišťování přítomnosti jezdce. Na závěr rešeršní části je popsán Multimedia Expansion Board, který obsahuje mimo jiné barevný dotykový displej a byl vybrán jako zobrazovací zařízení. Kromě popisu samotného hardwaru zde lze najít i popis práce s grafickou knihovnou, popis komunikace prostřednictvím rozhraní UART a postup při programování zápisu dat na SD kartu.

V druhé části je popsáno samotné řešení jednotlivých úkolů. Řešení problému s poškozováním výkonové elektroniky vlivem napětí indukovaného v motorech spočívá v odpojení obvodu motoru od H-můstků prostřednictvím elektromagnetického relé. Do řídicího obvodu relé bylo také zapojeno tlačítko pro nouzové vypnutí motorů. Pro detekci přítomnosti jezdce byl zvolen tenzometrický senzor. Při testovacím měření byla naměřena odezva tohoto senzoru na zatížení a bylo zjištěno, že pro naše účely bude tento senzor vyhovující. Kvůli zesílení signálu ze senzoru byl navržen zesilovač, bohužel z časových důvodů již nebyl signál z tenzometru zpracován.

Následující část se věnuje měření napětí baterie, určování rychlosti vozidla prostřednictvím enkoderů na motorech a určení náklonu vozidla. Tyto údaje jsou potřebné pro zobrazování na displeji. Přestože elektronika pro tyto senzory byla připravena, v původním projektu, kromě náklonu vozidla, nebyly tyto údaje potřebné a bylo tedy nutné je správně zapojit a signály z nich zpracovat. Zpracované údaje byly prostřednictvím vytvořené paketovací funkce po sériové lince poslány do procesoru displeje.

Samotné grafické uživatelské prostředí displeje je tvořeno třemi obrazovkami. První z nich slouží k zobrazování jízdních údajů, konkrétně rychlosti, stavu baterie, ujeté vzdálenosti a času. Na druhé obrazovce se nachází volby pro logování dat. Třetí obrazovka slouží k ukázce vypočteného náklonu vozidla. Dále je vysvětlen postup při samotném zápisu dat na SD kartu. Na závěr práce je ještě popsáno vytvoření kontroly správnosti údajů ze senzorů. Tato kontrola spočívá v určení mezí, mezi kterými se hodnoty z akcelerometru a gyroskopu pohybují a vypnutí řídicího signálu PWM při překročení těchto mezí.

Platforma nestabilního balancujícího vozidla nabízí do budoucna možnosti vylepšení v několika dalších směrech. Především samotný Multimedia Expansion Board může být využit k mnoha dalším účelům. Ať už jde o zobrazení dalších stavů vozidla, nebo více uživatelských voleb. Případně je možno využít další periferie MEB, jako například čidlo teploty, wi-fi modul, nebo audio vstupy a výstupy.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ZOUHAR, F. *Návrh konstrukce, řízení a elektroniky pro nestabilní balancující vozidlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [2] ŠTĚPÁNEK, J. *Identifikace systému, sensorika a implementace řídicího algoritmu pro nestabilní balancující vozidlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D..
- [3] HORÁK, P. *Řízení laboratorního modelu nestabilního balancujícího vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [4] ZOUHAR, F. *H-můstek 50 V, 40 A DataSheet*, MechLab 2011
- [5] AXMAN, P. *Návrh momentového šroubováku pro dotahování šroubů do kostních tkání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Kotek.
- [6] Multimedia Expansion Board [online]. [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2615&dDocName=en548037
- [7] Multimedia Expansion Board User's Guide [online]. Revize A (červen 2010) [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Multimedia%20Board%20Users%20Guide%20\(DS61160A\).pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Multimedia%20Board%20Users%20Guide%20(DS61160A).pdf)
- [8] PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet [online]. Revize G (květen 2011) [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61156G.pdf>
- [9] Microchip Application Libraries Help Files [online]. [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2680&dDocName=en547784
- [10] TIŠNOVSKÝ P. *Sériový port RS-232C* [online]. 27. 11. 2008 [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/seriovy-port-rs-232c/>
- [11] USART [online]. [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/USART>
- [12] PIC32 Family Reference Manual Section 21. UART [online]. Revize F (listopad 2010) [cit. 2. 5. 2012]. Dostupné z <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61107F.pdf>

-
- [13] NVF4-1&NVF4-2 Datasheet [online]. [cit. 4. 5. 2012]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/rele-s-dc-civkou/relauto12v-30a-p634-714/#dokumentace>>
- [14] Instrumentation Amplifier with Precision Voltage Reference Datasheet [online]. [cit. 14. 5. 2012]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>>

6. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér, jednotka proudu
AD	Analog to digital, označení převodníku signálů
DC	Stejnoseměrný proud (direct current)
deg	Úhlový stupeň, jednotka rovinného úhlu (degree of arc)
DPS	Deska plošných spojů
GOL	Graphics Object Layer
GUI	Grafické uživatelské prostředí (graphical user interface)
HUMMeR	Human Universal Mobile Mechatronics Robot
kg	Kilogram, jednotka hmotnosti
km/h	Kilometr za hodinu, jednotka rychlosti
m	Metr, jednotka délky
MEB	Multimedia Expansion Board
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
PID	Proporcionálně integračně derivační regulace
PWM	Pulzně šířková modulace (Puls Width Modulation)
s	Sekunda, jednotka času
SD	Secure Digital, označení paměťových karet
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
V	Volt, jednotka napětí
W	Watt, jednotka výkonu
U_i	Indukované napětí [V]
$c\Phi_{el.}$	Elektrická konstanta motoru [$V/rad \cdot s^{-1}$]
ω	Úhlová rychlost rotoru [$rad \cdot s^{-1}$]
R	Odpor vodiče [Ω]
ρ	Měrný elektrický odpor materiálu [Ω/m]
l	Délka vodiče [m]
S	Průřez vodiče [m^2]
U_2	Výstupní napětí děliče [V]
U_1	Vstupní napětí děliče [V]
R_2	„Spodní“ odpor v děliči [Ω]
R_1	„Horní“ odpor v děliči [Ω]
U_{10bit}	Napětí v 10bitové podobě na výstupu AD převodníku
$U_{A/D}$	Napětí na vstupu AD převodníku [V]
Δu	Napětí odpovídající jednomu dílku [V]
U_{ref}	Referenční napětí mikrokontroleru [V]

7. SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Obr. 2.1: Indukované napětí v motoru	14
Obr. 2.2: Schéma zapojení motoru	14
Obr. 2.3: Multimedia Expansion Board.....	17
Obr. 2.4: Struktura Microchip Graphics Library, převzato z [9].....	18
Obr. 2.5: Tok zpráv, převzato z [9].....	19
Obr. 2.6: Přenos bytu přes UART, převzato z [11]	20
Obr. 3.1: Zvolené relé NVF4-2, převzato z [13]	21
Obr. 3.2: Schéma zapojení relé a stop tlačítka.....	22
Obr. 3.3: Odezva tenzometru na zátěž	23
Obr. 3.4: Vybíjecí charakteristika baterie	26
Obr. 3.5: Zpracování signálu z enkodérů.....	27
Obr. 3.6: Data zasílána přes sériovou linku	28
Obr. 3.7: Paketovací funkce.....	29
Obr. 3.8: Rozložení obrazovek GUI	30
Obr. 3.9: Obrazovka zobrazení jízdních vlastností	30
Obr. 3.10: Algoritmus hystereze ukazatele baterie	31
Obr. 3.11: Obrazovka volby logování dat na SD kartu	32
Obr. 3.12: Obrazovka ukázky náklonu vozidla	33
Obr. 3.13: Ukázka souboru s logovanými daty	34
Obr. 3.14: Zjednodušený model Multimedia Expansion Boardu	35
Obr. 3.15: Schéma zapojení zesilovače tenzometrů	36
Obr. 3.16: Kontrola údajů ze senzorů	38
Obr. 3.17: Omezení maximálního náklonu.....	38
Tabulka 1: Převod důležitých napětí	25
Tabulka 2: Přiřazení napětí baterie k procentům	26
Tabulka 3: Mezní hodnoty z gyroskopu a akcelerometru.....	37

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vozidlo vytvořeno v rámci projekt HUMMeR, převzato z [1]	45
Příloha 2: Poškozený H-můstek	46
Příloha 3: Tenzometr nalepený na základní desce vozidla	46
Příloha 4: Kryt pro MEB navržený Ing. Tomášem Riplem	47
Příloha 5: Program řídicí jednotky navržený v prostředí Simulink	48

Příloha 1: Vozidlo vytvořeno v rámci projekt HUMMeR, převzato z [1]



Příloha 2: Poškozený H-můstek



Příloha 3: Tenzometr nalepený na základní desce vozidla

